

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри

_____ Защепкіна Н.М.

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
на тему: «Оптико-електронна вимірювальна система контролю
дисперсності гідравлічних емульсій»

Виконав:

Студент VI курсу, групи ПН-381мп

Оверчук А.В.

Керівник:

к.т.н., ст. в. Таранов В.В.

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

д.е.н., доцент Бояринова К.О.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Факультет приладобудівний

Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

Освітній ступінь “магістр”

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Спеціалізація 152 Інформаційно-вимірювальні технології екологічної безпеки

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о.завідувача кафедри

_____ Защепкіна Н.М.

_____ ” _____ 2019 р.

ІНДИВІДУАЛЬНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ПЛАН
НА ДРУГИЙ РІК НАВЧАННЯ
МАГІСТРАНТА ОВЕРЧУКА АНДРІЯ ВІКТОРОВИЧ

1. Тема проекту «Оптико-електронна вимірювальна система контролю дисперсності гідравлічних емульсій», керівник проекту Таранов Віктор Васильович, старший викладач., к.т.н. затверджені наказом по Університету від "___" _____ 2019 р. №___.

2. Термін здачі оформленої дисертації “9” грудня 2019 р.

3. Об’єкт дослідження – розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій вимірювальних макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

4. Предмет дослідження – визначення якісних та кількісних показників дисперсності гідравлічних емульсій в процесі їх технічної експлуатації.

5. Перелік питань, які мають бути досліджені.

5.1 Теоретичні дослідження:

5.1.1 Аналіз літературних джерел та патентів по темі досліджень.

5.1.2 Визначення ключових фізико-хімічних показників гідравлічних емульсій, що забезпечують їх робочі характеристики в процесі технічної експлуатації гідравлічних елементів вантажопідйомних машин та механізмів.

5.1.3 Огляд методик контролю робочих характеристик гідравлічних емульсій різного якісного та кількісного складу відповідно до технічних вимог виробника.

5.1.4 Дослідження характеристик вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в неполярних багатокомпонентних системах.

5.2 Експериментальні дослідження:

5.2.1 Обґрунтування доцільності застосування оптико-електронної інформаційної вимірювальної системи контролю мілкодисперсних включень гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

5.2.2. Розробити макет вимірювальної установки придатної для виміру дисперсних характеристик гідравлічних олиив методом лазерної дифрактометрії.

5.1.3 Провести апробацію експериментальної установки при вимірюванні якісних і кількісних показників мікрогенних включень нативних та застосованих в експлуатації вантажопідйомної техніки гідравлічних емульсій відповідно до умов експерименту.

5.1.4 Провести аналіз програмних засобів придатних для керування вимірювальним макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності.

5.2.5 Провести комплекс досліджень відповідно до теми магістерської дисертації за допомогою вимірювального макету бази лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

5.2.6 На базі навчально-наукової лабораторії кафедри НАЕПС провести аналіз та узагальнення результатів, отриманих при проведенні досліджень.

5.2.7. Розробити алгоритм проведення вимірів мілкодисперсних часток гідравлічних емульсій придатних для застосування у гідравлічних елементах вантажопідйомних машин та механізмів автоматизованими засобами вимірювального макету.

6. Перелік публікацій:

6.1 Опублікувати 1 статтю в науковому журналі.

6.2 Підготувати 1 доповідь на конференції із публікацією тез.

7. Перелік ілюстративного матеріалу (3 арк.)

7.1 Результати вимірів мікрогенних включень гідравлічних емульсій вимірювальним макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2 згідно умов експерименту.

7.2 Алгоритм проведення вимірювань та структурна схема стенда для визначення рахункових концентрацій мікрогенних включень гідравлічних емульсій.

8. Педагогічна практика.

8.1 Прийняти участь в обговоренні 2-х курсових робіт з дисципліни «Інформаційно-вимірювальні системи на ПЗЗ».

8.2. Провести під контролем викладача лабораторне заняття з дисципліни «Метрологічне забезпечення ІВС».

Дата видачі

“___” вересня 2019 р.

Науковий керівник

_____В.В. Таранов

Прийняв до виконання

_____Оверчук А.В.

9. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 5. Стартап проект «Оптико-електронна вимірювальна система контролю дисперсності гідравлічних емульсій»	Бояринова К.О., доктор економічних наук, доцент		

10. Дата видачі завдання “___” _____ 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Аналіз літературних джерел та патентів по темі досліджень		
	Визначення ключових фізико-хімічних показників гідравлічних емульсій, що забезпечують їх робочі характеристики, в процесі технічної експлуатації гідравлічних елементів вантажопідйомних машин та механізмів		
	Огляд методик контролю робочих характеристик гідравлічних емульсій різного якісного та кількісного складу відповідно до технічних вимог виробника.		
	Дослідження характеристик вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в неполярних багатокомпонентних системах.		
	Провести аналіз програмних засобів придатних для керування вимірювальним макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності.		
	Розробка методу та способу реєстрації квантового виходу люмінесценції слаболомінесціюючих сполук		
	Розробити алгоритм проведення вимірів мілкодисперсних часток гідравлічних емульсій придатних для застосування у гідравлічних елементах вантажопідйомних машин та механізмів автоматизованими засобами вимірювального макету.		
	Аналіз та узагальнення отриманих результатів		

Дата видачі

“___” вересня 2019 р.

Науковий керівник

_____ В. В. Таранов

Прийняв до виконання

_____ Оверчук А.В.

РЕФЕРАТ

Актуальність теми дослідження. Сучасні гідравлічні оливи складаються з базових олив і присадок, що поліпшують їх експлуатаційні показники. Провідні світові виробники паливно-мастильної продукції випускають гідравлічні оливи та емульсії що включають синтетичну або нафтову основу та їх суміш. Найбільшого поширення набули оливи на нафтовій основі.

Недоліками мінеральних гідравлічних олив на нафтовій основі є погані низькотемпературні характеристики, низька окислювальна стабільність. У синтетичних олив дані показники значно краще. Перевагою мінеральних олив перед синтетичними є хороша розчинна здатність по відношенню до присадок і сумісність з матеріалами ущільнень.

Сучасні методи контролю робочої стабільності гідравлічних олив та емульсій досить численні. Серед них можна виділити методи контролю основних показників в'язкості та текучості, модифікаційних, температурних змін пов'язаних із зносом елементів гідравлічних машин і механізмів. Дані методики контролю проводяться класичними фізико-хімічними методами та сучасними методами неруйнівного контролю, пов'язаними із дією на досліджувані зразки електромагнітного випромінювання радіочастотного і оптичного діапазонів та звукових коливань у випадку застосування ультразвукових методів аналізу. Для контролю розмірних включень в основній дисперсній фазі гідравлічної оливи доцільне застосування неруйнівних оптичних методів вимірювальний макет контролю кількісних характеристик мілкодисперсних часток у гідравлічній оливі на базі лазерного оптичного аналізатору ВДЛ-1М2.

Метою магістерської дисертації розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій вимірювальних макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

Об'єкт дослідження – конструктивні визначення якісних та кількісних показників дисперсності гідравлічних емульсій в процесі їх технічної експлуатації.

Предметом дослідження є процес реєстрації розмірних показників мілко дисперсних часток гідравлічної емульсії розробленим в рамках досліджень макетом вимірювальної установки.

Методи дослідження: метод лазерної дифракції світла, порівняльний аналіз вимірювальних засобів що використовуються для визначення розподілення частинок за розміром у неполярному розчині, їх структурних елементів та режимів роботи.

Для виконання поставленої мети потрібно:

- провести аналіз літературних джерел та патентів по темі досліджень.
- визначити ключові фізико-хімічні показники гідравлічних емульсій, що забезпечують їх робочі характеристики в процесі технічної експлуатації гідравлічних елементів вантажопідйомних машин та механізмів.
- зробити огляд методик контролю робочих характеристик гідравлічних емульсій різного якісного та кількісного складу відповідно до технічних вимог виробника.
- дослідити характеристик вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в неполярних багатокomпонентних системах.
- обґрунтувати доцільність застосування оптико-електронної інформаційної вимірювальної системи контролю мілкодисперсних включень гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.
- провести апробацію експериментальної установки при вимірюванні якісних і кількісних показників мікрогенних включень нативних та застосованих в експлуатації вантажопідйомної техніки гідравлічних емульсій відповідно до умов експерименту.
- провести комплекс досліджень відповідно до теми магістерської дисертації за допомогою вимірювального макету бази лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.
- на базі навчально-наукової лабораторії кафедри НАЕПС провести аналіз та узагальнення результатів, отриманих при проведенні досліджень.

- розробити алгоритм проведення вимірів мілкодисперсних часток гідравлічних емульсій придатних для застосування у гідравлічних елементах вантажопідйомних машин та механізмів автоматизованими засобами вимірювального макету.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні методики контролю розмірних фракцій мілкодисперсних часток гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

Апробація роботи. Результати роботи висвітлені в наступних статтях що пройшли рецензування та опубліковані:

- Солонінко Ю.М. Контроль дисперсності гідравлічних олив вибраними оптичними методами аналізу /Ю.М. Солонінко, А.В. Оверчук// Міжнародна наукова конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення", Wyższa Szkoła Społeczno-Gospodarcza, Przeworsk (Poland), 11-12 грудня 2019 р – Вип.44. – С. 81-85.

- Солонінко Ю.М. Експрес-метрія показників якості соняшникової олії в технологічному процесі очищення /Ю.М. Солонінко, М.Р. Мельник, А.В. Оверчук// IV Міжнародна науково-практична конференція "Потенціал сучасної науки", м. Київ. 10-11 грудня 2019 року – Вип. 4 (Ч.4) – С. 57-59.

Практична цінність полягає у впровадженні вищезазначених методів і засобів та пропонується у вигляді макету вимірювального засобу придатного для ідентифікації мілкодисперсних часток у гідравлічних емульсіях випадку їх наявності в досліджуваних зразках та визначення їх розмірних показників.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, 31 рисунків, 16 таблиць, списку використаних джерел із 38 позицій та додатків. Загальний обсяг роботи – 118 сторінок, з яких основна частина викладена на 118 сторінках.

Ключові слова: первинний перетворювач, мілкодисперсні частки, гідравлічні оливи, емульсія, малокутове лазерне розсіювання, розмірний спектр, вимірювач дисперсності лазерний ВДЛ-1М, удосконалення методу.

ABSTRACT

Relevance of the research topic. Modern hydraulic oils are composed of basic oils and additives that improve their performance. The world's leading manufacturers of fuel and lubricants produce hydraulic oils and emulsions that include a synthetic or petroleum base and a mixture thereof. Petroleum-based oils are most widely used. The disadvantages of mineral oil-based hydraulic oils are poor low-temperature characteristics, low oxidative stability. In synthetic oils, these figures are much better. Advantages of mineral oils over synthetic are good solubility with respect to additives and compatibility with seal materials.

Modern methods of controlling the working stability of hydraulic oils and emulsions are quite numerous. Among them are the methods of controlling the basic viscosity and fluidity, modification, temperature changes associated with the wear of the elements of hydraulic machines and mechanisms. These control methods are performed by classical physicochemical methods and modern methods of non-destructive testing, related to the action on the studied samples of electromagnetic radiation of the radio frequency and optical ranges and sound vibrations in the case of the use of ultrasonic methods of analysis. For the control of dimensional inclusions in the main dispersed phase of hydraulic oil, it is advisable to use non-destructive optical methods measuring model of control of quantitative characteristics of fine particles in hydraulic oil based on the laser optical analyzer VDL-1M2.

The purpose of the master's thesis is to develop a method and approbation of a means of control of the dispersion of hydraulic emulsions by measuring layout on the basis of a laser measuring device of dispersion VDL-1M2.

The object of the research is the constructive determination of qualitative and quantitative indicators of the dispersion of hydraulic emulsions in the course of their technical operation.

The subject of the study is the process of registration of dimensional indicators of finely dispersed particles of a hydraulic emulsion, developed in the framework of the research layout of the measuring installation.

Research methods: laser light diffraction method, comparative analysis of measuring tools used to determine particle size distribution in non-polar solution, their structural elements and modes.

To achieve this goal you need:

- analyze literature and patents on the topic of research.
- to identify key physicochemical indicators of hydraulic emulsions that ensure their performance in the technical operation of hydraulic elements of hoisting machines and mechanisms.
- to review the methods of controlling the performance of hydraulic emulsions of different qualitative and quantitative composition in accordance with the technical requirements of the manufacturer.
- to investigate the characteristics of measuring devices suitable for the control of micron-sized dimensional inclusions in non-polar multicomponent systems.
- to substantiate the feasibility of using an opto-electronic information measuring system to control fine-dispersed inclusions of hydraulic emulsions based on the VDL-1M laser dispersion meter.
- to test the experimental setup when measuring the qualitative and quantitative indicators of the microgene inclusions of native and hydraulic lifting emulsions used in operation in accordance with the experimental conditions.
- a complex of researches in accordance with the theme of the master's thesis with the help of a measuring model based on a laser measuring instrument of dispersion VDL-1M2.
- to carry out the analysis and generalization of the results obtained during the research on the basis of the educational laboratory of the NAEPS Department.
- to develop an algorithm for conducting measurements of fine particles of hydraulic emulsions suitable for use in hydraulic elements of lifting machines and mechanisms by automated means of measuring layout.

The scientific novelty of the work is to improve the method of controlling the size fractions of fine particles of hydraulic emulsions on the basis of a laser measuring device of dispersion VDL-1M2.

Practical value is the implementation of the above methods and means and is offered in the form of a model of a measuring tool suitable for the identification of fine particles in hydraulic emulsions, if present in the samples and to determine their size.

Testing the work. The results of the work are covered in the following peer-reviewed articles and published:

- Soloninko Yu.M. Control of the dispersion of hydraulic oils by selected optical methods of analysis / Yu.M. Soloninko, A.V. Overchuk // International Scientific Conference "Information Society: Technological, Economic and Technical Aspects of Becoming", Wyższa Szkoła Społeczno-Gospodarcza, Przeworsk (Poland), December 11-12, 2019 - Issue 44. - pp. 81-85.

- Soloninko Yu.M. Express metric of quality indicators of sunflower oil in the process of purification / Yu.M. Soloninko, M.R. Melnyk, A.V. Overchuk // IV International Scientific and Practical Conference "The Potential of Modern Science", Kyiv. December 10-11, 2019 - Iss. 4 (Part 4) - pp. 57-59.

Structure and scope of work. The work consists of an introduction, 4 sections, conclusions, 34 figures, 16 tables, a list of used sources of 38 positions and 5 appendices. The total volume of work is 118 pages, of which the main part is laid out on 118 pages.

Keywords: primary transducer, fine particles, hydraulic oils, emulsion, low-angle laser scattering, size spectrum, laser dispersion meter VDL-1M2, method improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ТА ЧИННИКИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЇХ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.....	14
1.1.Аналіз конструкційних і мастильних матеріалів, що застосовуються у вузлах тертя	14
1.2.Аналіз існуючих методів визначення термоокислювальної стабільності гідравлічних емульсій.....	18
1.3. Вимоги до чистоти гідравлічних олій.....	23
1.4. Вплив забрудненості гідравлічних олиव на роботу гідравлічної системи.....	27
1.5 Класифікація гідравлічних емульсій.....	30
1.6. Кваліфікаційні методи оцінки та вимоги до гідравлічних олив.....	31
1.7. Присадки гідравлічних емульсій та їх композиції.....	37
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ВИБРАНИМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ.....	40
2.1 Інструментальні методики контролю якості гідравлічних емульсій.....	40
2.2. Методи контролю окислювальної стабільності гідравлічних олив.....	42
2.3 Фотометричний метод контролю показників гідравлічних олив.....	43
2.4 Віскозиметричні методи дослідження показників в'язкості гідравлічних емульсій.....	46
2.5 Визначення температури спалаху нафтопродуктів.....	48
2.6 Визначення термо окислювальної стабільності гідравлічних емульсій...	50
2.7. Комплексні методики дослідження якості гідравлічних олив.....	52
2.8 Дослідження фотолюмінесценції гідравлічних олив.....	55

РОЗДІЛ 3. АПРОБАЦІЯ МАКЕТУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИСПЕРСНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЇ ДИФРАКТОМЕТРІЇ.....	59
3.1. Визначення концентрації та середнього розміру частинок емульсій полярних розчинів із вимірюванням коефіцієнту ослаблення спрямованого світла.....	59
3.2. Нефелометричне визначення розмірного складу зваженої речовини....	62
3.3 Аналіз динамічного розсіювання світла.....	66
3.4. Вимір розмірів часток в малопрозорих дисперсних середовищах.....	69
3.4 Лазерна дифрактометрія дисперсних показників полярних розчинів.....	70
3.5 Характеристики вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в гідравлічних емульсіях.....	73
3.6. Положення геометричної теорії дифракції.....	83
3.7. Визначення контрасту дифракційної картини.....	85
3.9. Вимірювання показників дисперсності гідравлічних емульсій вимірювальним макетом на базі лазерного дифрактометра ВЛД-1М2.....	86
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ».....	93
4.1 Опис ідеї проекту.....	93
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	96
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	98
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	104
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	107
4.6 Висновки до розділу 4.....	111
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	115

ВСТУП

Сучасні методи контролю робочої стабільності гідравлічних олив та емульсій досить численні. Серед них можна виділити методи контролю основних показників в'язкості та текучості, модифікаційних, температурних змін пов'язаних із зносом елементів гідравлічних машин і механізмів. Дані методики контролю проводяться класичними фізико-хімічними методами та сучасними методами неруйнівного контролю, пов'язаними із дією на досліджувані зразки електромагнітного випромінювання радіочастотного і оптичного діапазонів та звукових коливань у випадку застосування ультразвукових методів аналізу.

Для контролю розмірних включень в основній дисперсній фазі гідравлічної оливи доцільне застосування неруйнівних оптичних методів вимірювальний макет контролю кількісних характеристик мілкодисперсних часток у гідравлічній оливі на базі лазерного оптичного аналізатору ВДЛ-1М2. Для підвищення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей робочих рідин їх легують функціональними присадками: антиокисними, антикорозійними, протизношувальними, антипінними та ін. [4].

У гідросистемах екскаваторів та вантажопідйомних механізмів для виготовлення деталей, які працюють в різних умовах навантаження, використовується великий асортимент матеріалів, межа тимчасового опору яких коливається в межах від 15 до 90 кГ/мм², із межею текучості від 20 до 40 кГ/мм², та відносним подовженням від 9 до 45% [1]. Згідно класифікації [3] гідравлічні оливи діляться на 10 класів по в'язкості і на 3 групи експлуатаційних властивостей по наявності функціональних присадок, що покращують експлуатаційні властивості базової оливи.

У присутності такого широкого діапазону матеріалів, що мають каталітичні властивості, та постійної дії теплової енергії, гідравлічні оливи піддаються інтенсивному окисленню, що веде до збільшення їх в'язкості та утворення речовин, що випадають у вигляді твердого або мазеподібного осаду на робочій поверхні гідравлічних елементів.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ТА ЧИННИКИ ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЇХ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Гідравлічний привід став основним приводом, яким оснащені до 90% самохідних і стаціонарних машин різного технологічного призначення, що експлуатуються в різних географічних широтах [6]. Досвід експлуатації гідрофікованих машин різного призначення показує, що найбільша кількість відмов доводиться на гідравлічний привід, основним елементом якого є гідравлічна олива, що забезпечує передачу енергії від насоса по трубопроводах до гідравлічних двигунів, мастило поверхонь тертя, захист деталей від корозії, відведення тепла і видалення продукту зносу із зон тертя. Тому гідравлічна олива здійснює функціонування гідро устаткування, а його якість багато в чому визначає ефективність гідравлічного приводу.

Гідравлічна система є сукупністю машин і апаратів, що служать для передачі енергії від одного вузла або агрегату машини до іншого і перетворення цієї енергії в корисну роботу. Середовищем для передачі енергії в гідравлічній системі служить відносно нестискувана рідина на нафтовій або синтетичній основі. Працездатність гідравлічних передач промислового устаткування визначається їх конструкцією і якістю мастильних матеріалів [9].

1.1. Аналіз конструкційних і мастильних матеріалів, що застосовуються у вузлах тертя

За умовами застосування розрізняють дві основні категорії: олива для легких і середніх режимів швидкостей і навантажень, і оливи для форсованих і важких умов роботи [11]. Особливістю застосування сучасних олив є інтенсифікація режимів роботи промислових механізмів і комплексна їх автоматизація. Якщо у верстатах і механізмах старих конструкцій температура оливи не перевищувала 40-60°C, то нині робочі температури досягають 100°C і більше, що вимагає застосування стабільних олив, що містять присадки [12].

Широке поширення промислових циркуляційних систем мастила і систем гідравлічного приводу управління, працюючих в умовах форсованих режимів, пред'являє ряд специфічних вимог до олив. Найважливіші з них - стійкість проти утворення осаду (колоїдна стабільність), стійкість до окислення впродовж декількох тисяч годин роботи (хімічна стабільність) і висока мастильна здатність.

Для стійкої роботи систем циркуляційного мастила, і особливо гідравлічних систем, важливо, щоб коливання робочих температур в мінімальному ступені відбивалися на в'язкості оливи, тобто оливи повинні мати високий індекс в'язкості.

Останнім часом намітилася тенденція до підвищення робочого тиску в гідравлічних системах. У зв'язку з цим велике значення придбаває надійність їх окремих елементів, зокрема робочій рідині. З підвищенням тиску, як відомо, умови роботи рідини посилюються. Тому робоча рідина повинна мати відповідну в'язкість, хороші в'язкісно-температурні і протипінні властивості; тривалий термін експлуатації; захищати від ржавіння металеві поверхні і запобігати їх корозії [25].

При підвищенні тиску до 50 МПа олива повинна мати мінімальну стисливість і знижену схильність до витоку.

Підбору рідин для гідравлічної системи приділяється велика увага. У сучасній літературі детально розглянуті найважливіші фізико-хімічні властивості олив і методи їх оцінки [26].

Під стабільністю товарних олив розуміють їх здатність зберігати свій склад і основні властивості в умовах зберігання, транспортування і застосування. Стабільність оливи в процесі роботи визначає термін працездатності як самої оливи, так і гідросистем. Основними чинниками, що впливають на стабільність олив, є дія кисню повітря, температури, води, а також присутність каталізаторів і забруднень [27].

Різноманіття завдань, які виконують оливи в умовах застосування, пред'являють до них підвищені, а в деяких випадках і суперечливі вимоги,

задоволення яких є складним технічним завданням. Тому сучасні оливи у своєму складі містять присадки, концентрація яких може досягати 20%. Деякі присадки або їх компоненти при тривалому зберіганні олив можуть випадати в осад або відділятися від базової оливи, що призводить до погіршення ряду експлуатаційних властивостей оливи.

У роботі [11] показано, що великий вплив на колоїдну стабільність оливи робить хімічний склад базової основи. Так, наприклад, оливи гідрокрекінгу гірше поєднуються з присадками протизносу і вязкостними в порівнянні з оливами селективного очищення.

В силу великої різноманітності устаткування по матеріалах, системам мастила і умовам експлуатації асортимент цих олив дуже широкий (близько 100 марок, складових 40% від загального числа марок індустріальних олив різного призначення), що ускладнює планування і організацію виробництва олив, їх застосування і зберігання, експлуатацію техніки, призводить до нераціонального використання як олив, так і техніки.

Корінне поліпшення якості і розширення асортименту олив потрібно у зв'язку зі збільшенням швидкостей, питомих навантажень верстатів і машин. Динаміка зростання споживання олив свідчить про необхідність постійного збільшення їх виробництва. Тільки широкий розвиток виробництва легованих олив може стабілізувати відносно скорочення витрати олив, що стримуватиме темпи постійного зростання споживання олив без присадок.

Відомо, що застосування олив з присадками сприяє скороченню їх витрати в 2-3 рази, в порівнянні із застосуванням олив без присадок. Для розширення виробництва оливи з присадками необхідно значно збільшити об'єм високоякісних базових олив серії VI (високоіндексні). Ці оливи тривалий час робилися з суміші сірчистих нафт [15].

Тенденція до збільшення "продуктивності" робочого тиску в гідроприводах ставить завдання по вибору матеріалів пар тертя і вибору гідравлічних олив працюючих при великих контактних тисках. Нині проблема підвищення зносостійкості елементів гідроприводу не втрачає своєї

актуальності. Постійне вдосконалення конструкції гідроприводу багато в чому не вирішує питання зносостійкості елементів гідроприводу, тому рішення цієї задачі дуже складне, оскільки зносостійкість для кожного матеріалу не постійна, а залежить від його початкової структури і утворення вторинних структур на поверхнях при терті [26].

Вирішення проблеми підвищення зносостійкості матеріалів елементів гідроприводу повністю не вирішується поліпшенням їх механічних властивостей.

Тому цю проблему необхідно вирішувати в комплексі, з урахуванням якості робочої рідини, умов і режимів експлуатації гідроприводу. Таким чином, для підвищення зносостійкості вузлів гідроприводу необхідно робити вибір матеріалів пари тертя і властивостей гідравлічних олив з урахуванням їх сумісності і пристосованості один до одного. Як елемент гідроприводу до гідравлічних олив пред'являються наступні вимоги [12]:

- мати хороші змащуючі властивості;
- оберігати від корозії поверхні деталей гідро устаткування;
- не мати механічних домішок;
- не поглинати і не виділяти газів;
- мати достатню хімічну стійкість;
- мати достатню довговічність;
- мати високий об'ємний модуль пружності;
- мати малий температурний коефіцієнт розширення;
- бути нетоксичними і не мати неприємного запаху;
- мати високу температуру спалаху і низьку температуру застигання;
- мати високі діелектричні якості.

Для підвищення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей робочих рідин їх легують функціональними присадками: антиокисними, антикорозійними, протизношувальними, антипінними і ін.

У гідросистемах екскаваторів для виготовлення деталей, які працюють в різних умовах, використовується великий асортимент матеріалів, межа

тимчасового опору яких коливається в межах від 15 до 90кГ/мм², межа плинності від 20 до 40 кГ/мм², відносне подовження від 9 до 45% [11].

З приведених даних видно, що механічні властивості матеріалів, використовуваних при виготовленні деталей гідросистеми, знаходяться в широкому інтервалі. У присутності такого широкого діапазону матеріалів, що мають каталітичні властивості, і постійної дії теплової енергії, гідравлічні оливи піддаються інтенсивному окисленню, що веде до збільшення в'язкості і утворення речовин, що випадають у вигляді твердого або мазеподібного осаду [9].

Аналіз технічного обслуговування гідрофікованих машин показав, що гідравлічні оливи не очищаються і не контролюються через відсутність теорії взаємодії гідравлічних олив з об'єктами, а також методики прогнозування термінів експлуатації гідравлічних олив в гідросистемах.

Таким чином, деталі сучасних гідросистем виготовляють з різних матеріалів, фізико-механічні властивості яких знаходяться в широкому діапазоні. Експлуатація гідросистеми призводить до зміни властивостей гідравлічних олив в результаті їх окислення, полімеризації і накопичення домішок. Тому вивчення механізму окислення гідравлічних олив в процесі експлуатації гідроприводів представляє важливе значення в підвищенні їх надійності і довговічності.

1.2.Анализ існуючих методів визначення термоокислювальної стабільності гідравлічних емульсій

Внаслідок того, що функція робочої рідини являється не лише передача енергії від джерела до споживачів - виконавчих механізмів, але і що змащує (видалення продуктів зносу з поверхонь тертя, зниження коефіцієнта тертя і температури), то контроль за станом гідравлічних олій і їх терміном служби представляє актуальне завдання.

Стан робочої рідини контролюють при її виготовленні, зберіганні і експлуатації. В Україні при застосуванні гідравлічної рідини роблять

контроль: в'язкість (ISO 3448:1992); температури спалаху (ДСТУ 4106-2002); температури застигання (ДСТУ 4129-2002 (ISO 6743/0-81); кислотного числа КОН (ISO 6743-0:1981); концентрацію домішок (ДСТУ 4106-2002); стабільності проти окислення (ДСТУ 4106-2002); корозійної дії на метали (ДСТУ 4106-2002); зміна маси стандартної гуми (ДСТУ 4106-2002).

При зберіганні робочої рідини визначають зміст механічних домішок, води, кислотне число і температуру спалаху.

В умовах експлуатації гідроприводів робочу рідину перевіряють на наявність води, механічних домішок і визначають в'язкість.

Важливе значення на ресурс роботи гідравлічних олив здійснюють умови і режими експлуатації гідроприводів. Ці чинники визначають якісний і кількісний склад домішок гідравлічних олій, що утворюються за рахунок окислення, або що потрапляють ззовні внаслідок коливання рівня рідини в гідробаку. Окислення оливи в основному відбувається в тонких плівках на поверхнях тертя, нагрітих до температур 100-200°C (гідронасоси, гідромотори) [9]. Частки зношування, забруднення неорганічного походження роблять основний вплив на ресурс прецизійних агрегатів. Гідравлічний ККД при передачі енергії на виконавчі органи в основному залежить від в'язкості робочої рідини.

Підвищення стійкості гідравлічних олив до окислення здійснюють шляхом легування їх антиокисними присадками. Проте при тривалій експлуатації активність присадок зменшується. Відомо, що молекули присадки адсорбуються на металевій поверхні і утворюють захисний шар, що виключає контакт вуглеводнів з металом [12]. Через деякий час адсорбований шар молекул присадки під дією високих температур, взаємодії з металом і киснем повітря переходить в дисперсну фазу, яка не здатна утримуватися на металевій поверхні. При русі оливи продукти розкладання присадки, що утворилися, відносяться потоком, а місце, що звільнилося, відновлюється новими молекулами присадки.

Таким чином, для оцінки термо окислювальної стабільності робочої рідини впродовж усього періоду експлуатації гідроприводу необхідно

розробити систему контролю, включаючи технологію, пристрої для його здійснення і граничні науково-обґрунтовані показники.

Важливість вирішення цієї проблеми видно з аналізу патентних і літературних джерел. Так, в роботі [6] роблять оцінку лакоутворюючих властивостей олив і дію на них присадок. При реалізації цього методу обчислюють випаровуваність, робочу фракцію і лаки по отриманих значеннях будують графіки залежності робочої фракції і лаку від часу, по якій визначають значення термо окислювальної стабільності. Цей метод, в основному, застосовується для оцінки термо окислювальної стабільності моторних мастил, застосування його для робочих рідин невідоме.

Спосіб визначення стабільності присадок в оливах [1] ґрунтований на зміні їх електропровідності. На підставі результатів будують графічну залежність температури до сили струму і визначають термічну стабільність олив.

Визначення властивостей моторного мастила [4] полягає у відборі проб олив, що пройшли випробування в двигуні, витримці його у присутності 1-5 % вага. води при температурі 70-150 °С і визначенні випавшого сухого осаду, кількість якого є показником стійкості оливи до шлакоутворення. А термо окислювальна стабільність оливи визначається по приросту в'язкості.

Прилад для оцінки термо окислювальної стабільності олив [5] дозволяє оцінити стабільність оливи по зміні його фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей, та по кількості осаду на склянці.

Визначення індукційного періоду окислення палива [9] полягає в нагріві заданого об'єму до заданої температури і хроматографічно визначенні в ньому вміст розчиненого кисню. Цей спосіб, в основному, застосовується для оцінки окислення палив, застосування його для робочих рідин невідоме.

Визначення термо окислювальної стабільності низько молекулярних нафтопродуктів [1] полягає у визначенні різниці питомої потужності діелектричних втрат у присутності каталізатора і без нього, яка визначається за формулою:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \varepsilon_0 2\pi f \frac{E^2}{2} (\varepsilon_2 \operatorname{tg} \delta_2 - \varepsilon_1 \operatorname{tg} \delta_1) \quad (1.1)$$

де ε - діелектрична проникність палива;

ε_0 - електрична постійна;

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат;

E - напруженість електричного поля, кВ/м;

f - частота змінної напруги.

Спосіб визначення стабільності [2] полягає в нагріванні мастильного матеріалу у присутності повітря, перемішуванні і визначенні параметрів процесу окислення. За критерій, що характеризує схильність мастильного матеріалу до утворення продуктів окислення прийнята швидкість окислення.

Визначення якості працюючої оливи [3] полягає у визначенні відношення різниці щільності робочої і свіжої оливи до щільності свіжої оливи ($\Delta \rho_H / \rho_o$). Про якість оливи судять по залежності між цим відношенням і лужним числом.

Визначення міри забрудненості працюючого моторного мастила [22] полягає у вимірі фізичних параметрів початкової і працюючої оливи. В якості параметра використовується щільності початкової і працюючої оливи і щільності нерозчинних забруднень. Міру забрудненості визначають по формулі:

$$X = \frac{p_1 (p_{cm} - p_2)}{p_{cm} (p_1 - p_2)} \quad (1.2)$$

де p_{cm}, p_1, p_2 - відповідно щільність працюючої, початкової оливи і нерозчинних забруднень.

Про термічну стабільність оливи судять по зниженню прокачування оливи шляхом прокачування його під тиском через калібрований жиклер

ISO 6743-0:1981 передбачає оцінку антиокисних властивостей по зміні в'язкості оливи. Зміну в'язкості у відсотках визначають по формулі:

$$v_d = \frac{\Delta v_{50}}{v_{50}} 100 \quad (1.3)$$

де Δv_{50} - приріст в'язкості за час випробування, рівний $v_{50}^1 - v_{50}$;

v_{50}^1 - кінематична в'язкість оливи при 50°C після випробування, сСт;

v_{50} - кінематична в'язкість оливи при 50°C до випробування, сСт.

ISO 6743-0:1981 передбачає оцінку термо окислювальній стабільності моторних мастил. Метод полягає в нагріванні тонкого шару оливи, випаровуванням легколетучих фракцій, розділенням залишку на робочу фракцію і лак, і визначенням термо окислювальної стабільності.

Показники служать для умовної оцінки схильності олив до лакоутворенню.

ДСТУ 4129-2002 полягає в окисленні оливи при температурі 200 °C з подальшим визначенням осаду і в'язкості окисленої оливи. В'язкість окисленої оливи визначається по ISO 3448:1992. Масову долю осаду визначають в окисненій оліві за формулою:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m} 100\% \quad (1.3)$$

де m - маса наважки окисленої оливи в грамах;

m_1 - маса бюкси з чистим фільтром в грамах;

m_2 - маса бюкси з фільтром і осадом.

Спосіб [7] полягає в поданні оливи на випарники і контакті його з газовим середовищем, де відбувається деструкція і полімеризація масляної плівки з утворенням лаків і осаду, які оцінюються ваговим методом.

Метод визначення стабільність оливи [8] оцінюється по приросту їх в'язкості і індукційному періоду осадоутворення, випаровуваність - по втраті маси оливи, а корозійність оливи по втраті маси пластин.

Установка для випробування моторних мастил [9] дозволяє досліджувати миючі, нагаро- і лакоутворюючі, протикорозійні і

окислювальні властивості моторних мастил з присадками шляхом послідовного контакту з нагрітими до різних температур шарами оливи і частково киснем повітря.

Оцінки термо окислювальної стабільності мастильних матеріалів [30] полягає в нагріванні проби до заданої температури у фарфоровому тиглі і визначенні масових доль летких і нерозчинних речовин.

Відома оцінка термо окислювальної стабільності [3] мастильних матеріалів фотометричним методом.

Короткий аналіз, проведений в області оцінки якості нафтопродуктів, показав, що приладове забезпечення і методична база, в основному, спрямовані на оцінку термо окислювальної стабільності, нагаро - і коксоутворення, вимір в'язкості і корозійної стійкості палив і моторних мастил. Частина розробок можуть бути універсальними і використовуватися для широкого асортименту нафтопродуктів. Таким чином, аналіз показав, що оцінка якості робочих рідин має бути комплексною і враховувати вищезгадані показники.

1.3. Вимоги до чистоти гідравлічних олій

Вміст забруднень і максимальні розміри часток в гідравлічних оливах визначають по проміжках прецизійних парх гідравлічних агрегатів. Безвідмовна робота гідравлічної системи забезпечується видаленням з гідравлічних олив часток, що перевищують по розмірах половину ширини проміжку між сполученими деталями гідравлічних агрегатів [15].

Але через технічні обмеження і з економічних міркувань ця вимога нині не може бути задоволена, тому чистота гідравлічних олив вважається задовільною, якщо розміри часток в ній дорівнюють ширині найменшого проміжку в агрегатах.

Так гідравлічні олива, вживана в будівельній і сільськогосподарській техніці, очищаються від забруднень, частки яких перевищують розміри 15-20 мкм [18].

На проміжних східцях очищення гідравлічних олив вимоги до їх чистоти регламентувалися наявністю відповідного устаткування і не були обґрунтовані. Так, наприклад, в американському стандарті SAE ARP - 598 [11] викладені вимоги до чистоти гідравлічних олив для гідросистем ракет (таблиця. 1.1).

Таблиця 1.1

Вимоги до чистоти робочих рідин для гідравлічних систем.

Місце відбору проб	Допустиме число часток ($\mu m / 100 \text{ см}^3$) в інтервалі розмірів.					
	1-5 мкм	640 мкм	11-25 мкм	26-50 мкм	51-100 мкм	>100 мкм
Випробувальна установка	500000	25000	2500	25	5	0
Гідравлічна система	500000	128000	42500	6500	1000	52

У інших нормативних документах США введені класи чистоти робочих рідин встановлені, наприклад, Американською асоціацією авіаційної промисловості (AIA) (таблиця. 1.2) [25] і по специфікації MIL T- 2565-68-61 (таблиця. 1.3). Класи чистоти фірми British Aircraft застосовують в Англії (таблиця. 1.4).

Таблиця 1.2

Класи чистоти робочих рідин для гідравлічних систем

Клас	Допустима кількість часток ($\mu m / 100 \text{ см}^3$) в інтервалі розмірів					
	5-10 мкм	11-25 мкм	5-10 мкм	11-25 мкм	>100 мкм	
					волокна	частки
1	Визначається для умов застосування	220	20	5	2	0
2		530	60	10	3	1
3		1530	150	15	4	1
4		5530	420	40	7	3
5		1650	320	25	1	0

У зв'язку з тим, що гідравлічні оливи забруднюються при транспортуванні, зберіганні і заправці в системи виникає невідповідність між прецизійними деталями, обробленими з високою точністю і забрудненістю

гідравлічних олив, в яких вони працюють. Тому забруднення гідравлічних олив запобігають зменшенню попадання часток ззовні і шляхом їх очищення різними методами. Але ці операції трудомісткі, отже, треба встановлювати обґрунтовані межі очищення гідравлічних олив.

Таблиця 1.3

Класи чистоти робочих рідин що використовуються в гідравлічних приводах літальних апаратів по специфікації British Aircraft

Клас	Допустима кількість часток ($шт/100см^3$) в інтервалі розмірів				
	5-15 мкм	15-25 мкм	25-50 мкм	50-100 мкм	>100мкм
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	256	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	28800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2380	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

Найбільш точною оцінкою ступеня забрудненості є ДСТУ 4106-2002 (табл. 1.4) по 17 класам, що відрізняються один від одного кількістю і розмірами частинок забруднення що знаходяться в оливі.

Таблиця 1.4

Вимоги до чистоти робочих рідин по класах відповідно до ДСТУ 4106-2002

Клас	Допустима кількість часток (<i>шт</i> / 100см ³) в інтервалі розмірів									Вміст забруднень %
	0,5-1 мкм	1-2 мкм	2-5 мкм	5-10 мкм	10-25 мкм	25-50 мкм	50-100 мкм	100-200 мкм	волокна	
00	800	400	32	8	4	1		Абсолютна відсутність		Не нормується
0	1600	800	63	16	8	2				
1		1600	125	32	16	3				
2			250	63	32	4	1			
3		Не нормується		125	63	8	2			
4	250			125	12	3				
5	500			250	25	4	1			
6	1000			500	50	6	2	1	0,0002*	
7	2000			1000	100	12	4	2	0,0003*	
8	4000			2000	200	25	6	3	0,0004*	
9	8000			4000	400	50	12	4	0,0006*	
10	16000			8000	800	100	25	5	0,0008*	
11	31500			16000	1600	200	50	10	0,0016*	
12	63000			31500	3150	400	100	20	0,0032*	
13				63000	6300	800	200	40	0,005*	
14				125000	12500	1600	400	80	0,008*	
15					25000	3150	800	160	0,016*	
16					50000	6300	1600	315	0,032*	
17							12500	3150	630	0,063*

Таблиця 1.5

Класи чистоти робочих рідин для гідравлічних систем по специфікації MIL T- 2565-68-61

Клас	Допустима кількість часток ($\mu m / 100 \text{ см}^3$) в інтервалі розмірів				
	50 мкм	10-25 мкм	25-50 мкм	50-100 мкм	> 100 мкм
0	2700	670	93	16	1
1	4600	1340	210	28	3
2	9700	2680	380	56	5
3	24000	5360	780	ПО	11
4	32000	10800	1510	225	21
5	87000	21400	3130	430	41
6	128000	42000	6500	1000	92

Таким чином, міра забруднення робочих рідин враховується на стадіях їх транспортування до місць споживання, зберігання на складах і при заправці в гідросистеми машин. На стадіях же експлуатації гідроприводів питання забруднення робочих рідин продуктами окислення, продуктами зносу і забрудненнями, що потрапляють ззовні не враховується.

1.4. Вплив забрудненості гідравлічних олиив на роботу гідравлічної системи

Гідравлічні олиив в процесі експлуатації піддаються окисленню, яке викликає зміну фізико-хімічних властивостей. Окрім цього в процесі експлуатації гідроприводу відбувається безперервний процес накопичення органічних і неорганічних домішок в гідравлічних олиивах. Склад забруднень залежить від умов і режимів експлуатації, а так само герметичності елементів гідроприводу, внаслідок чого в гідросистему потрапляє атмосферний пил, до складу якого входить окис кремнію (60-80%) і окис алюмінію (10-15%). Так забрудненість гідросистем тракторів складає: влітку 0,08-0,12 %, а взимку 0,02-0,05 %. Аналогічна тенденція спостерігається в гідросистемах автомобілів [26].

Присутність забруднень в гідравлічних олиивах знижують надійність і довговічність гідравлічних приводів. Оскільки гідравлічні системи

включають агрегати з прецизійними деталями, які мають малі зазори, то вони чутливі до наявності в гідравлічних оливах твердих часток [11].

Попадання твердих часток в проміжки прецизійних пар може викликати заклинювання деталей і їх абразивний знос, що призводить до виходу агрегатів гідросистеми з ладу. Наявність забруднень викликає зниження несучої здатності змащуючої плівки на поверхнях тертя, що збільшує інтенсивність зношування [7].

На працездатність і ресурс гідравлічних олив впливає температурний режим роботи гідроприводу, який визначає інтенсивність їх окислення. Відомо, що інтенсивність окислення гідравлічних олив зростає удвічі при збільшенні температури понад 60 °C [5].

Збільшенню окислення гідравлічної оливи сприяє наявність механічних домішок в гідросистемі. Головними причинами і джерелами забруднень гідравлічних олив є [22]:

- забруднення гідросистеми в період виготовлення гідроустаткування і складання гідроприводів;
- забруднення гідросистеми в процесі заправок і дозаправок гідравлічними маслами в умовах експлуатації;
- забруднення гідросистеми в процесі експлуатації машини.

Дотримуючись усіх правил експлуатації гідрофікованих машин, механічні домішки в гідравлічних оливах утворюються із-за зносу і корозії деталей гідроустаткування.

На рівень концентрації забруднень при експлуатації гідрофікованих машин істотно впливають кліматичні умови.

Окрім цього, на експлуатаційні властивості гідравлічних олив в процесі експлуатації гідрофікованих машин, а, отже, і на роботу гідроприводу впливає присутність в них води, згідно [5] вміст якої влітку складає до 0,54 %, а взимку до 1%, що призводить до примерзання перепускних клапанів. Вона погіршує змащуючі властивості олив, посилює корозійну активність, та прискорює процеси окислення оливи, продукти якої забивають систему

фільтрації. Крім того, наявність води в гідравлічній оливі сприяє зростанню в них бактерій [3], що утворюють в'язкі смолянисті утворення.

Забруднення олив по їх складу підрозділяються на неорганічні (мінеральні речовини, повітря, та вода) і органічні (вуглеводневе і мікробіологічне походження). Класифікація забруднень за їх складом приведена в таблиці 1.6.

Таким чином, при експлуатації гідрофікованих машин в гідравлічних оливах завжди присутні механічні домішки, вода і нерозчинене повітря, які під дією температури, тиску, вібрацій, деталей гідроагрегатів каталітично впливають на оливи що негативно позначається на їх властивостях, а так само на працездатності і ефективності гідравлічного приводу.

Таблиця 1.6

Склад забруднень в нафтових оливах [11]

Речовини	Фазовий стан
Неорганічні	
Метали	Тверде
Оксиди металів	Тверде
Сполуки неметалів (оксиди і солі)	Тверде
Вода	Рідке
Повітря	Газоподібне
Органічні	
Смолисті речовини	Напіврідке
Асфальтени	Тверде
Солі карбонових кислот	Тверде
Вуглеводні	Пластичне або тверде
Бактерії, грибки, пірогенні речовини	Пластичне або напіврідке (пліснява, слиз або плівка)

При експлуатації машин з гідравлічним приводом кожна з них має свої специфічні умови, які призводять до забруднень, характерних тільки для умов роботи цього гідроприводу. Тому розробка способів і засобів контролю забруднень гідравлічних олив на стадії експлуатації гідроприводів має практичне значення в підвищенні надійності роботи гідроприводів.

1.5 Класифікація гідравлічних емульсій

Класифікація мінеральних гідравлічних емульсій, яка прийнята у всьому світі, ґрунтується на в'язкості і на наявності в них відповідних функціональних присадок, що забезпечують необхідні експлуатаційні властивості.

Згідно ДСТУ вітчизняні гідравлічні оливи позначаються групою знаків, перша з яких позначається буквами "МГ" - мінеральне гідравлічне, друга цифрами і означає клас кінематичної в'язкості, а третя - позначається буквами і вказує приналежність оливи до групи експлуатаційних властивостей.

Згідно класифікації [9] гідравлічні оливи діляться на 10 класів по в'язкості і на 3 групи експлуатаційних властивостей по наявності функціональних присадок, що покращують експлуатаційні властивості базової оливи.

Відповідно до [7] гідравлічні оливи діляться на 10 класів за значенням в'язкості при 40 °С (таблиця. 1.7).

Таблиця 1.7

Класифікація гідравлічних оливи за в'язкістю

Клас в'язкості	Кінематична в'язкість при 40°C, $\text{мм}^2 / \text{с}$
5	4,14-5,06
7	6,12-7,48
10	9,00-11,00
15	13,50-16,50
22	19,80-24,20
32	28,80-35,20
46	41,40-50,60
68	61,20-74,80
100	90,00-100,00
150	135,00-165,00

За експлуатаційними властивостями і наявністю функціональних присадок гідравлічні оливи діляться на три групи А, Б і В [7]. Група А (група

НН по ISO) - нафтові оливи без присадок, застосовуються в мало-навантажених гідросистемах з шестерінчастими або поршневими насосами, працюючими при тисках до 15 МПа і максимальній температурі оливи в об'ємі до 80 °С.

Група Б (група HL по ISO) - олії з антиокисними присадками, застосовуються в середньо-навантажених гідросистемах з різними насосами, працюючими при тисках до 25 МПа і температурі оливи в об'ємі понад 80 °С.

Група В (група HM по ISO) - добре очищені оливи з антиокисними, антикорозійними і протизношувальними присадками, застосовуються в гідросистемах, працюючих при тисках понад 25 МПа і температурі оливи в об'ємі понад 90 °С.

Ця класифікація гідравлічних олив за групами експлуатаційних властивостей вказує тільки склад оливи, тобто наявність функціональних присадок і рекомендована температурна область в її об'ємі, але не дає повної інформації про працездатність олив. Не вказується, як взаємодіють оливи з металами, що містяться в гідросистемах будівельних машин, гранична температура окислення і так далі

Таким чином, по представленій класифікації споживач не може судити про істинні характеристики гідравлічних олив, їх термінах експлуатації, а також відсутня можливість відрізнити оливи однієї експлуатаційної групи від іншої.

1.6. Кваліфікаційні методи оцінки та вимоги до гідравлічних олив

Нині асортимент гідравлічних олив дуже великий. За даними [8] вони діляться на десять класів за в'язкістю і три експлуатаційні групи.

Кваліфікаційна оцінка гідравлічних олив включає 20 показників, дає тільки інформацію щодо допуску до виробництва, основними з яких є: в'язкість, корозійні, протизносні, протизадирні і термо окислювальні властивості, а також сумісність з гумотехнічними виробами, але не дає інформації про зміну властивостей робочих рідин в процесі експлуатації і

критерію оцінки їх працездатності, тому в основу дослідження прийнятий метод термоокислювальної стабільності.

В якості основного критерію оцінки хімічної стабільності олив пропонується використати зміну під час окислення кислотного числа (ISO 6743-0:1981). Умови окислення підбираються таким чином, щоб при мінімальній тривалості виявити зміни властивості олив і ефективність дії присадок.

Розробкою нових присадок, що покращують експлуатаційні властивості олив, випробуванням і рекомендацією до застосування, а так само вивченням властивостей, якості і раціонального використання палив, мастильних матеріалів і спеціальних рідин займається така наука як хімотологія [10, 11], Але які саме присадки (миючі, антиокислювальні, антикорозійні, протизносні і т.д.) найбільш ефективні і як вони в комплексі впливають на підвищення властивостей олив не вивчено, практично відсутні методи їх оцінки в умовах експлуатації техніки.

В результаті окислення гідравлічних олив утворюються рідкі або тверді нерозчинні продукти, що відрізняються високомолекулярною масою. Знаходячись в оливі в зваженому стані, високомолекулярні продукти можуть осідати на поверхнях механізмів у вигляді плівок. Нерозчинні продукти можуть утворитися також в результаті хімічних перетворень вуглеводнів оливи або присадок і випадати з нього у зв'язку з погіршенням розчинності у базовій оливі.

Інтенсивність окислення оливи (так само, як і швидкість хімічної реакції) з підвищенням температури на 10°C практично подвоюється [24]. Зменшення кількості повітря, циркулюючого в системі, за інших рівних умов сприяє підвищенню антиокисної стабільності оливи за рахунок зниження концентрації кисню і зниження можливості місцевого підвищення температури. За даними роботи, при адіабатичному стискуванні повітря від атмосферного тиску до 70 кГ/см температура його підвищується від 0 до 700°C .

На даний момент існує мало методів, що надійно прогнозують поведінку оливи в різних умовах зберігання і застосування. У літературі описані лише декілька методів, які дають дуже умовну оцінку колоїдній стабільності олив. Так, по федеральному методу США РТМ 3460 [15] ця оцінка зводиться до виявлення схильності компонентів олій розшаровуватися під дією температур, що циклічно міняються (табл 1.8).

Таблиця 1.8.

Граничні норми зміни показників фізико-хімічних властивостей гідравлічних рідин в процесі експлуатації

Показники	Допустимі норми	Примітки
В'язкість	$\pm 10\%$ $\pm 25-30\%$ В'язкість досягає найближчої вищої чи нижчої границі по класифікації SAE	В гідроприводі із електронним керуванням
Кислотне чило, мг КОН/г	Не вище 1,0-1,5 Не вище 1,5-2,5 +0,5	Олива без присадок Олива без присадок Олива з присадками
Механічні домішки	При виявленні домішок абразивного характеру	-
Водорозчинні кислоти і луки	При виявленні	-
Вода, %	Не вище 0,2-0,5 Не вище 1,0	При відсутності в оливі емульгаторів і стабілізаторів Теж саме, при стійкій емульсії що не розшаровується
Осад, %	0,1-0,3	В гідроприводі рухомого складу

Для цього зразок оливи нагрівають до 96°C і витримують 24 год, потім охолоджують до -18°C і знову витримують 16 ч, після чого зберігають при кімнатній температурі 10 діб. Після закінчення зазначеного терміну оцінюють стан оливи. По американській військовій специфікації MIL-L-2В,

стабільність оцінюють по федеральному методу PTM 3455.1 (CRC-1-22) [5]. По цьому методу в пробірки для центрифугування заливають по 100 мл оливи і зберігають їх в темному приміщенні 30 діб. Потім оливу поміщають в центрифугу впродовж 5 хв і вимірюють величину осаду.

Вважається що олива витримала випробування, якщо твердий осад не перевищує 0,25%, а рідкий - 0,5%. Існують і інші методики для визначення стабільності розчинів присадок в оливах [18].

Для індустриальних гідравлічних олив, створених на базі продуктів дистилятів, а також що містять присадки темного кольору, ці методи неприйнятні, оскільки в цьому випадку практично унеможлиблюється візуального визначення розшарування товарної оливи. У роботі [19] приведені відомості про розробку методу оцінки фізичної стабільності трансмісійних і редукторних олив.

Метод полягає в нетривалому зберіганні при високих і низьких температурах, центрифугуванні і визначенні мастильної здатності оливи. Стабільність оливи оцінюється по зміні величини показників, що характеризують протизадирні і протизносні властивості верхнього і нижнього шарів оливи після центрифугування. Такий підхід до оцінки стабільності ґрунтований на тому, що протизадирні і протизносні присадки в оливах містяться у більш високих концентраціях, ніж інші.

Вони, як правило, мають більшу щільність, ніж базова олива, що і призводить до порушення стабільності системи. Істотна відмінність цього методу від інших, тобто його новизна, в тому, що він базується на оцінці найважливіших функціональних властивостей олив, що виключає суб'єктивний підхід до оцінки їх стабільності.

Для олив, що містять невелику кількість присадок, можливе визначення коефіцієнта світлопропускання. Окрім того, вимірюється електропровідність досліджуваних систем. Пропонують визначати кінетичну стійкість рідких нафтових дисперсних систем після центрифугування при підвищених температурах по концентрації дисперсної фази в двох шарах, віддалених один від одного на певній відстані.

Стабільність системи виражають відношенням оптичної щільності верхнього і нижнього шарів, що характеризують однорідність сировини по висоті шару, і називають чинником стійкості :

$$\Phi_y = \frac{D_1}{D_2} \quad (1.4)$$

Таким чином, універсального методу визначення колоїдної стабільності товарних олив немає. Це робить необхідним проведення досліджень по вибору і обґрунтуванню методів оцінки стійкості проти розшарування індустріальних олив з композиціями присадок.

У гідравлічних системах велика кількість рухливих елементів, і одним з призначень олив для таких систем є зниження тертя і зносу елементів, що труться, виготовлених з різних конструкційних матеріалів [25]. В результаті зносу зростають проміжки між поверхнями, що призводить до збільшення люфтів, зниженню КЕЩ і до інших порушень в роботі системи

В той же час більшість елементів гідравлічних систем працюють в умовах рідинного режиму змащування, коли небезпека зносу невелика, хоча окремі вузли постійно або періодично працюють в умовах граничного змащування, що зв'язано з їх високим зносом. При розробці гідравлічної оливи з високими властивостями протизносу важливо знати умови роботи оливи (тип насоса, тривалість роботи, робочий тиск, навантаження на привід, очікувані ударні навантаження, марку металу, вживаного для виготовлення деталей системи [26].

Одним з найважливіших показників якості гідравлічних олив, що визначає працездатність системи, є в'язкість. Як правило, вказують три значення в'язкості олив

- 1) Максимальне (при найнижчій температурі, при якій має бути забезпечений холодний запуск системи).
- 2) Оптимальне (при нормальній робочій температурі).
- 3) Мінімальне (при максимальній робочій температурі).

Зміна в'язкості оливи вище або нижче певного діапазону негативно позначається на роботі гідравлічної системи : при підвищенні в'язкості ускладнюється запуск і знижується чутливість гідросистеми, можлива поява кавітації (для відвертання цього явища пропонується додавати відповідні присадки); при зниженні в'язкості з'являється прослизання насоса, знижується мастильна здатність і збільшується знос деталей, що труться, зростають витрати рідини [27].

Під час експлуатації гідравлічних систем в'язкість оливи, як правило, підвищується і досягає такого значення, при якому робота системи недопустима. Питання заміни оливи вирішується залежно від конструкції конкретної гідросистеми. Наприклад, оливи, вживані в гідроприводі верстатів з програмним управлінням [29], підлягають зміні при зміні в'язкості на 10%. В звичайних гідравлічних системах збільшення в'язкості оливи при його експлуатації не повинне перевищувати 25-30% [7].

Дотримуються емпіричного правила, згідно з яким зміна оливи потрібна, якщо в'язкість змінилася і досягла найближчої вищої або нижчої межі по класифікації SAE (таблиця. 1.8 [7]).

Захисні властивості є важливим експлуатаційним показником, що характеризує здатність оливи захищати систему від дії вологи, яка у присутності кисню викликає корозію металу.

Головними причинами обводнення олив можуть бути [5]: конденсація вологи з повітря; порушення герметичності охолоджувальних систем; безпосереднє попадання води в оливи при негерметичній зберіганні і транспортуванні; конденсація водяних парів, що безперервно потрапляють з відпрацьованими газами, що відбувається в процесі охолодження гідравлічних систем.

Протипінні властивості характеризують здатність оливи виділяти повітря або інші гази без утворення піни [26]. Піноутворення зазвичай скорочує термін служби оливи, оскільки при цьому відбувається інтенсивніше окислення оливи. При спінюванні погіршуються охолоджуючі

властивості оливи, збільшуються втрати оливи через нещільність системи, знижується мастильна здатність оливи, порушується рівномірність дії рухливих елементів гідросистеми [30].

Для забезпечення хороших антипінних властивостей оливи потрібне видалення з базової основи поверхнево-активних смолянистих речовин і збільшення міри диспергування протипінної присадки в об'ємі оливи.

1.7. Присадки гідравлічних емульсій та їх композиції

Підвищені вимоги до якості індустріальних гідравлічних олив визначаються значним збільшенням температур, навантажень і швидкостей переміщення деталей вузлів тертя. Перспективним напрямком розробки високоякісних товарних олив служать ефективні присадки і їх композиції [32]. Вибір присадок до олив визначається умовами роботи змащувальних матеріалів у вузлах тертя і специфічними вимогами гідравлічних систем, для яких вони призначені.

Експлуатаційні властивості олив, що виробляються нині, не повністю відповідають вказаним вимогам [5, 6]. Їх поліпшення здійснюється введенням в оливи присадок, найважливішими з яких є : антиокисники, що покращують мастильні і захисні властивості, протипінні, вязкостні і деемульгатори.

В якості протизадирних і протизносних присадок в гідравлічних оливах використовують фосфорорганічні, хлор- і сірко- місткі з'єднання, що містять : трикрезилфосфат - ТКФ ($(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{PO}$) [8, 6], біс- (алкілбензілтіо) етан - АБЕС, умовна формула якої [31]:

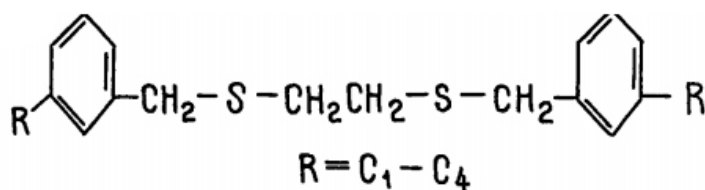


Рис. 1.1 – Структурна хімічна формула фосфорорганічної присадки гідравлічних емульсій.

Передбачуваний механізм дії даних присадок наступний: спочатку присадка адсорбується на поверхні металу, відбувається руйнування масляної плівки під впливом нагріву контактів поверхонь і протікає швидка реакція сіркомісткого з'єднання з металом. В результаті утворюється сульфідна плівка, здатна витримувати великі навантаження. Це широко поширені представлення, хоча повна ясність в хімічних реакціях, що ведуть до утворення сульфідної плівки, відсутня.

Створення нових машин і механізмів обумовлює необхідність розробки нових і поліпшення якості використовуваних олив, оскільки існуючий асортимент товарних олив не задовольняє встановленим вимогам. Конкретних вимог, що пред'являються до олив для гідравлічних систем, визначаються умовами, в яких вони працюють, тобто конструкцією гідравлічної системи і тими робочими операціями, які система повинна виконувати [17, 24].

Робилися спроби уточнення залежності між структурою з'єднання і його ефективністю. Те, що присадки ОТП і АБЕС знижують при концентрації в оливі до 3%, а вище 3% збільшують знос поверхонь, що труться, свідчить про необхідність виявлення оптимальної концентрації цих присадок (рис. 1.2) [12].

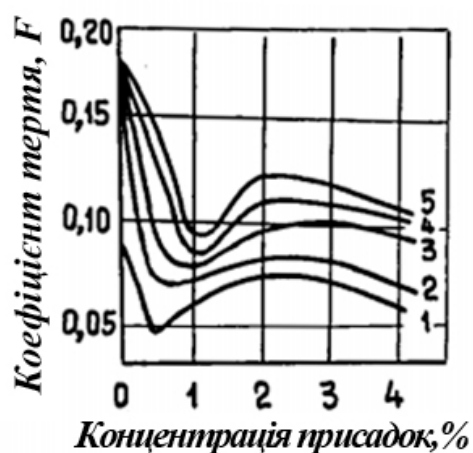


Рис. 1.2 –Залежність коефіцієнта тертя від концентрації присадки АБЕС в гідравлічній оливі: 1, 2, 3, 4 і 5 - криві, отримані при температурі оливи у вузлі тертя відповідно до 40, 80, 120, 160 і 200°C.

Важливим показником якості протизадирних присадок є їх стабільність при зберіганні в розчині оливи [1, 6]. Дослідження осаду, виділеного з розчину в оливі нестабільної присадки, встановлено що він утворюється з діхлорпохідних. Останнє, довело тривалими випробуваннями стабільності присадки, Синтезованої на основі фракції хлор метилованого продукту, що містить від 1 до 11% діхлорпохідних. В кількості до 3% вони не відкликають впливу на стабільність присадки. (рис. 1.2), 4% викликає появу злегка помітного осаду, а зі збільшенням кількості діхлорпохідних до 11% стабільність присадки різко погіршується.

Про фільтрованість оливи судять за величиною об'єму оливи (см^3), який може бути профільтрований через 1 см^2 поверхні пластини, що фільтрує, з розміром пір 3 мк до перепаду тиску близько 1 кг/см^2 . Для оливи, вживаних в гідросистемах Koehring, допускається чинник фільтрованості не менше 150 см^3 .

Високоіндексні базові оливи володіють, як правило, підвищеною прийомистістю до різних композицій присадок. При цьому істотно знижується витрата присадок при виробництві товарних оливи. З метою отримання високоіндексних базових оливи все ширше використовуються процеси гідрогенізацій (гідрокрекінг, гідроізомеризація). Оливи після гідрокрекінгу мають високі в'язкісно-температурні властивості, хороший колір, підвищену термічну і окислювальну стабільність, низький вміст коксу, азоту і сірки [4, 5].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ВИБРАНИМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ

Прискорений розвиток в машинобудуванні засобів автоматизації, розширення застосування і створення нових автоматичних ліній, високоточних верстатів з числовим програмним управлінням вимагає розширення обсягів виробництва і розробки нових гідравлічних олиव з композиціями присадок.

Стійкість олив підвищують шляхом їх легування антиокисними присадками, але активність присадок при тривалій роботі двигунів внутрішнього згоряння падає, тому важливо мати приладове забезпечення для оцінки термо-окислювальної стабільності протягом усього терміну експлуатації. У зв'язку з тем, що основні дослідження гідравлічних масел за опресією розробки потенційного ресурсу, температурної області робочої здатності, механізм окислення прийнятої термоокислительна стабільність, за оцінкою яких вважаються вірогідність, летучість, продукти окислення, з цим цілком були вибрані наступні роботи.

2.1 Інструментальні методики контролю якості гідравлічних емульсій

Надійність елементів гідравлічного приводу забезпечується на стадіях проектування, виготовлення і експлуатації [1, 5]. Ця проблема дозволила виділити основні методи підвищення надійності машин з гідравлічним приводом, працюючих в широкому діапазоні температур [30] (рис. 2.1).

Застосування досконаліших конструкцій гідравлічного приводу дозволяє підвищити їх надійність при експлуатації. Так згідно [4, 8] відвертання аварійних ситуацій можливе при застосуванні відповідних посадок в прецизійних парах.

Застосування стійкіших матеріалів в регулюючій апаратурі і насосах; холодостійких сталей для штоків і проушин гідроциліндрів; міцних і

морозостійких ущільнювачів гідроустаткування дозволяють підвищити надійність гідроприводу. Рівень технічного обслуговування машин з гідравлічним приводом показав, що ця проблема є важливим чинником підвищення їх надійності [25].

Оптимізація теплового режиму гідравлічного приводу дає можливість зменшення втрат тиску гідравлічних оли в гідросистемі, збільшення довговічності гідроустаткування, підвищення к.к.д., виключення кавітації, тим самим, визначає його надійність [4, 7].



Рис. 2.1 – Основні методи підвищення надійності гідравлічного приводу

Застосування гідравлічних оли, що відповідають умовам експлуатації дозволяє підвищити надійність гідравлічного приводу. Основною вимогою, що пред'являється до гідравлічних оли, є відсутність в них забруднень, що потрапляють на етапах їх виробництва, речовинами, що містяться в

початковій сировині, транспортування, зберігання і експлуатації. Тверді частки, що потрапляють в гідравлічну систему, адсорбують на своїх поверхнях активні речовини, якими є присадки, погіршують експлуатаційні показники оливи, а значить довговічність елементів гідроприводу [25].

Перехід техніки з літнього періоду на зимовий або навпаки здійснюється зміною гідравлічних оливи літом на в'язкішу, а взимку на менш в'язку [30]. При зміні оливи частина його залишається в гідросистемі, що призводить до змішування їх і зміни, як властивостей, так і к.к.д. гідроприводу. Тому для зменшення номенклатури гідравлічних оливи були розроблені всесезонні [31].

Вони мають хороші експлуатаційні властивості, що забезпечують захист металевих поверхонь від задирів і зносу, запобігають корозії, та мають хороші анти-пінні властивості [15].

Застосування даних всесезонних і універсальних оливи є вигіднішим, проте нині відсутні науково обґрунтовані критерії оцінки ресурсу з урахуванням експлуатаційних чинників. Крім того, випереджаючими темпами створюються високопродуктивні машини, з гідро приводом, в спеціальному виконанні з високим тиском в гідросистемі, що вимагає підвищеної уваги до гідравлічних оливи (чистоти, якості і так далі).

2.2. Методи контролю окислювальної стабільності гідравлічних оливи

Окислювальна стабільність є важливим інтегральним експлуатаційним показником моторних оливи, тому що утворюються при окисленні продукти впливають на корозійні, протизносні та в'язкі властивості.

Головним фактором, який впливає на швидкість окислювальних процесів, є температура, яка генерується на поверхнях тертя. Крім того, металеві поверхні пар тертя надають каталітичний вплив на окислювальні процеси, що протікають в оливах, при підвищених температурах. Однак вплив продуктів окислення на фрикційні властивості оливи вивчені недостатньо, так як сам механізм їх утворення також недостатньо вивчений.

Метод визначення стабільності присадок в оліях [25] полягає в вимірі електропровідності зразків, що змінюється в залежності від їх стану. За характером залежності сили струму, що проходить через зразок, від часу випробування судять про вплив різних чинників на стабільність розчинів присадок в оливах.

При визначенні термічної стабільності олив графічну залежність будують в координатах: температура-сила струму, що проходить через зразок, а температурну область взаємодії присадок з металами пар тертя виділяють за допомогою електродів, виготовлених з відповідного металу.

Метод [26] дозволяє оцінювати шлакоутворювальні властивості олив і вплив на них присадок. У зв'язку з цим запропонований коефіцієнт лакоутворення, який можна використовувати для визначення ступеня окислення оливи. Метод реалізується за допомогою стандартного лакоутворювача.

Метод визначення властивостей гідравлічної оливи [7] полягає в відборі проб оливи, що пройшов випробування в двигуні, витримці його в присутності 1-5 мас. % Води або водного розчину електроліту при 70-150 ° С. Кількість випавшого сухого осаду є показником стійкості до шлакоутворення. Термо-окислювальну стабільність відібраної проби оливи визначають по приросту в'язкості. Результати дослідження термо-окислювальної стабільності і шлакоутворення узгоджуються з даними тривалих стендових і експлуатаційних випробувань.

Прилад для оцінки термо-окислювальної стабільності олив [19] складається з вузлів попереднього окислення оливи в обсязі і окислення в тонкому шарі. Попереднє окислення виробляється при температурі і подачі окислювача (повітря) в оливу через перфоровані кільце.

Стабільність оливи оцінюється зі зміни його фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей, а також за кількістю відкладень і випаровування.

2.3 Фотометричний метод контролю показників гідравлічних олив

Даний метод призначено для оцінки процесу окислення гідравлічних олив при експлуатації гідроприводів і випробуванні їх на термо окислювальну стабільність шляхом прямої фотометрії. Критерієм оцінки олив є коефіцієнт поглинання світлового потоку, визначуваний відношенням поглиненого світлового потоку випробовуваною оливою до заданого світлового потоку. Загальний вигляд фотометра показаний на рис. 2.1, а його технічна характеристика приведена в таблицю. 2.1 [8, 15].

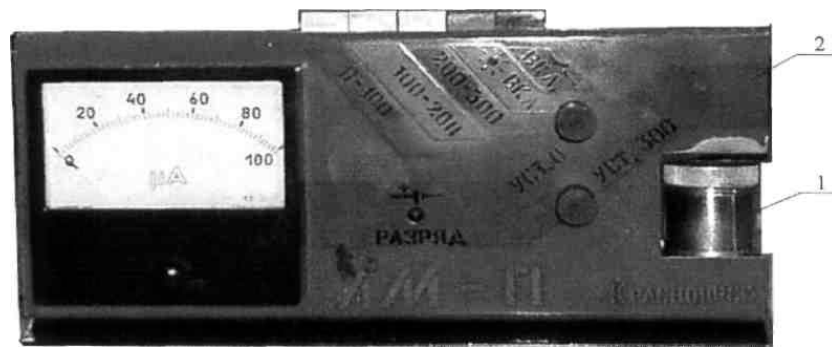


Рис .2.1 Фотометричний пристрій для визначення якості гідравлічних емульсій

Таблиця 2.1

Технічна характеристика фотометра

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення параметрів
Діапазон вимірів	мкА	0...300
Похибка вимірювання	%	±2,0
Час одного виміру з урахуванням допоміжного	хв	3,0
Час безпосереднього вимірювання	с	5,0
Товщина фотометрованих шару:	мм	8,0
Напруга живлення	В	9 («Крона»)
Споживана потужність	ВА	0,2
Час нагріву приладу для нормальної роботи	хв	3,0
Габарити:		
висота	мм	105
ширина	мм	225
довжина	мм	40
маса	кг	1,2

Оптичний блок (рис. 2.2) призначений для прямої фотометрії гідролічних оливи різної прозорості [15].

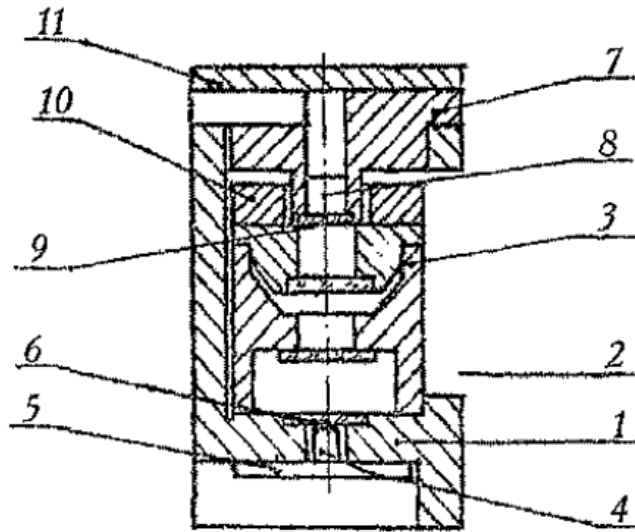


Рис. 2.2 Оптичний блок фотометру.

Оптичний блок фотометру складається з корпусу 1, виконаного з щілиною 2 для установки і фіксації кювети 3. Нижній торець корпусу 1 виконаний з оптичним каналом, в якому встановлено джерело світла 4, закріплений на платі 5 і захищений склом 6 від забруднень. На верхньому торці корпусу 1 встановлена втулка 7, виконана з оптичним каналом, в якому встановлений фотоприймач 8, захищений склом 9 від забруднень. На циліндричному виступі втулки 7 встановлений на різьбі маховик 10, призначений для фіксації кювети 3. Дроти фотоприймача притиснуті шайбою 11.

Фотометрична кювета (рис. 2.2) призначена для створення фотометруючого шару оливи завтовшки 8 мм [10].

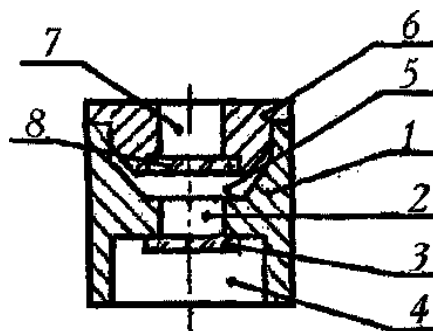


Рис. 2.3 Фотометрична кювета для зразків гідролічних оливи.

Кювета складається з корпусу 1, виконаного з оптичним каналом 2, в якому встановлено скло 3. Кришка 4 виконана з оптичним каналом 5 і склом 6. Кювета встановлюється у фотометричний блок і фіксується маховиком.

Фотометричний блок встановлений в корпусі вимірювального блоку. Органи управління і індикації приладу розташовані на передній панелі (рис. 2.1).

Принцип роботи приладу ґрунтований на пропусканні стабілізованого монохроматичного світлового потоку через шар досліджуваної оливи на фотоприймач. Залежно від концентрації механічних домішок і окислення оливи на фотоприймач падає різний світловий потік, пропорційний концентрації. Чим більше домішок, тим нижче показання приладу.

2.4 Віскозиметричні методи дослідження показників в'язкості гідравлічних емульсій

Прилад призначений для виміру в'язкості малих об'ємів нафтопродуктів при 100 і 50°C [15].

Таблиця 2.2

Технічна характеристика віскозиметра

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення параметрів
Напруга живлення	В	12
Максимальна потужність нагрівача	Вт	42
Похибка вимірювання	%	±2
Обсяг випробуваного масла	мл	8,5
Температура вимірювання в'язкості: моторних і трансмісійних олив; гідравлічних і промислових олив	°C	100 50
Час одного виміру	хв	25
Габарити приладу	мм	100*160*260
Маса приладу	кг	3,0

Принцип роботи приладу ґрунтований на вимірі часу занурення плоского диска в нафтопродукт при заданій його температурі на задану глибину під власною вагою. Вимірювальна схема приладу передбачає за 1 °С до заданої температури відключення нагрівача і вмикання за допомогою електромагнітної системи коромисла з диском для перемішування рідини в склянці.

Перемішування здійснюється до тих пір, поки температура рідини максимально не наблизиться до заданої, після чого коромисло фіксується в верхньому положенні, а досягши заданої температури електромагнітна система знеструмлюється і диск під власною вагою опускається. Час його опускання залежить від в'язкості рідини.

Динамічна в'язкість визначається по формулі:

$$\eta = \frac{П - 169}{5,63} \quad (2.1)$$

де η - в'язкість досліджуваної рідини;

П - час опускання вимірювального диска, імп;

169 і 5,63 - постійні коефіцієнти, залежні від конструктивних особливостей приладу (діаметр диска, глибина занурення диска, діаметр склянки), і встановлюється експериментально.

Віскозиметр складається з механічного і електронного блоків (мал. 2.4), розташованих відповідно у верхній і нижній частинах модуля [4].

Механічний блок (рис. 2.4) виконаний в корпусі прямокутної форми з перегородкою 2, на якій встановлені направляюча стійка 3, закріплена у втулці 4, циліндричний нагрівач 5, фіксатор 6 платформ 7 і кронштейн 8 із закріпленими на ній світлодіодом і фотодіодом. Платформа 7 встановлена на нижньому торці направляючої стійки 3 і виконана з можливістю поворотно - поступального переміщення уздовж стійки. Платформа 7 містить пази для установки і фіксації склянки 9. Переміщення склянки 9 в порожнину нагрівача 5 робиться за допомогою важеля 10, верхнє положення якого фіксується фіксатором 6. На нижній стінці корпусу встановлений кронштейн

11 з електромагнітною системою 12 приводу коромисла 13 і вимірювального диска 14. Температура нафто продукту в склянці 9 вимірюється за допомогою терморезистора, встановленого на стійці 15.

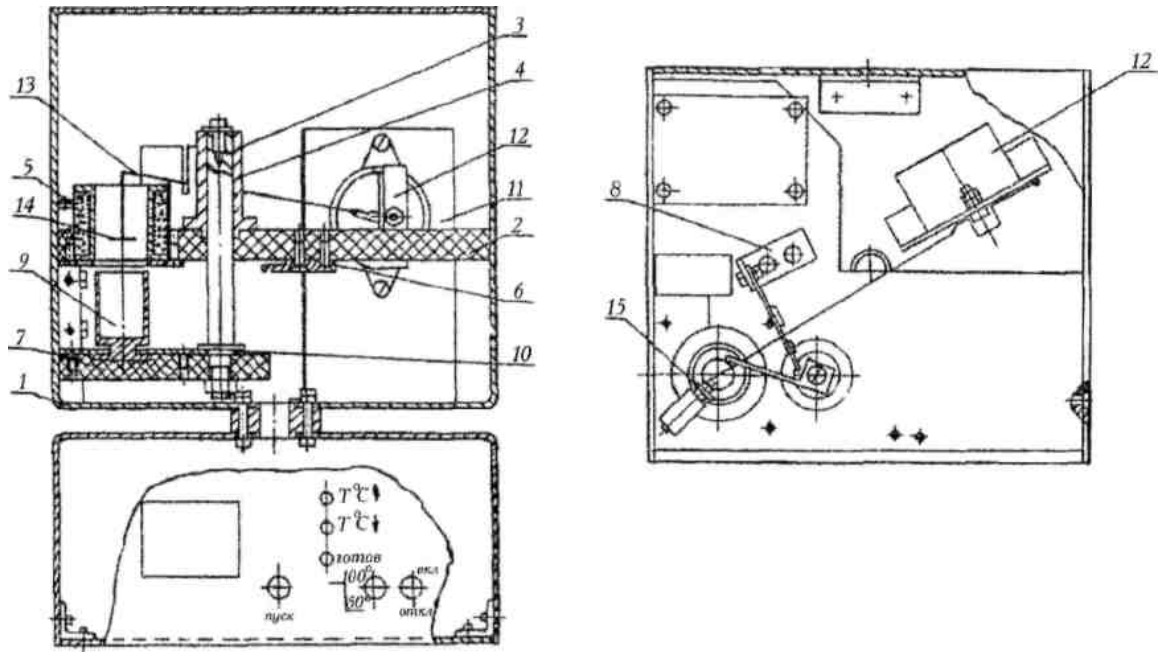


Рис. 2.4 – Структурна схема віскозиметру для визначення показників в'язкості гідравлічних емульсій.

Електронний блок виконаний в окремому корпусі, розташованому під механічним блоком (рис. 2.4), і складається з плати автоматики і трьох плат лічильників-індикаторів. Вимірювальний блок включає електромагнітну систему приводу рамки, підсилювач потужності, фотоприймач і випромінювач, розташований в механічному блоці [7].

2.5 Визначення температури спалаху нафтопродуктів

Принцип роботи приладу ґрунтований на нагріві випробовуваної проби нафтопродукту до температури, при якій при підпалі за допомогою електричної спіралі відбувається стійкий спалах парів.

Прилад складається з механічного і вимірювального блоків (рис. 2.5) і виконаний в окремому модулі. Механічний блок (рис. 2.5) виконаний в окремому корпусі 1, розташованому над блоком електроніки.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика приладу для визначення температури спалаху нафтопродуктів [25]

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення параметрів
Напруга живлення	В	12
Максимальна потужність нагрівача	Вт	42
Похибка вимірювання	%	± 3
Обсяг випробуваної оливи	мл	8,5
Час нагріву оливи до 260 ° С, не більше	хв	5
Спосіб підпалу парів оливи		за допомогою розпеченої спіралі
Габарити приладу	мм	180*160*260
Маса приладу	кг	2,6

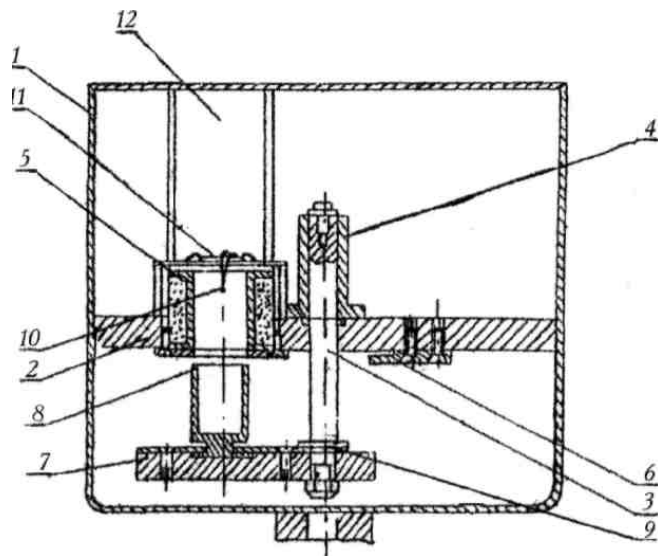


Рис. 2.6 Механічний блок приладу для визначення температури спалаху нафтопродуктів [25, 26]

Механічна блок приладу розташований на перегородці 2, встановленою в корпусі 1, на якій встановлені направляюча стійка 3, закріплена у втулці 4, циліндричний нагрівач 5, фіксатор 6 платформи 7, на якій в пазі встановлена

склянка 8. Платформа 7 виконана з можливістю зворотно-поступального переміщення уздовж осі. Верхнє положення платформи 7 фіксується за допомогою важеля 9, що входить в зачеплення з фіксатором 6. Температура оливи реєструється за допомогою термopари 10, а підпал пари нафтопродукту робиться за допомогою спіралі 11, встановленою на окремій платі.

Для витягування диму з корпусу прилад оснащений витяжною колонкою 12.

2.6 Визначення термо окислювальної стабільності гідравлічних емульсій

Призначений для визначення термо окислювальної стабільності нових та працюючих олив. Термоокислювальна стабільність характеризує схильність олив до окислення і утворення домішок [6].

Прилад складається з механічного і вимірювального блоків (рис. 2.7), причому механічний блок, встановлений на передній панелі.



Рис. 2.7. – Прилад для визначення термо окислювальної стабільності гідравлічних олив

Механічний блок (рис. 2.8) включає циліндричну піч 1, на зовнішній поверхні якої намотаний нагрівач 2, ізольований від зовнішнього середовища

теплоізоляцією 3. Піч 1 кріпиться до передньої панелі 4 вимірювального блоку за допомогою гвинтів через пластину 5 з термоізоляції. Склянка 6 для випробовуваної олії встановлюється в піч 1 з нижнього торця за допомогою ручки 7, сполученою із склянкою 6 за допомогою скло-пластикової пластини 8, і фіксується упором.

Над верхнім торцем печі 1 встановлений підшипниковий вузол 9, в якому на підшипниках 10 встановлений вал 11 мішалки 12. Підшипники 10 закриті з двох сторін кришками 13. Підшипниковий вузол 9 зафіксований в кронштейні 14 за допомогою гвинта 15, який кріпиться до лицьової панелі вимірювального блоку через пластину 5. Вихідний торець валу 11 через пружну муфту 16 сполучений з електродвигуном 17, встановленим і зафіксованим гвинтом 18 в кронштейні 19, який кріпиться через пластину 5 до передньої панелі 4 вимірювального блоку.

Температура випробовуваної оливи вимірюється за допомогою термопари хромель-копель. Встановлення необхідної температури і автоматична її підтримка здійснюється за допомогою вимірювального блоку.

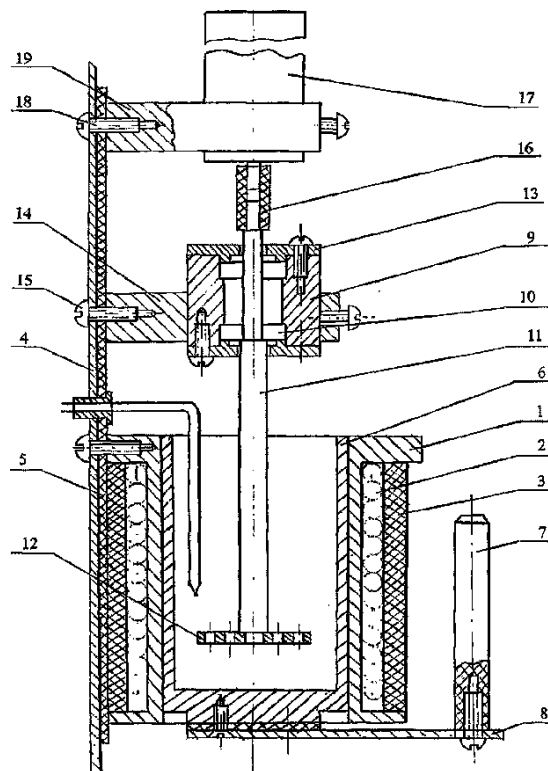


Рис. 2.8 – Механічний блок термоокислювального вимірювача [6,7]

2.7. Комплексні методики дослідження якості гідравлічних олив

З урахуванням проведеного аналізу способів і засобів оцінки якості мастильних матеріалів при найчастіш застосовують об'єднану методику контролю якості гідравлічних олив що базується на термоокислювальній стабільності в якості основного методу випробування гідравлічних олив. Цей метод моделює умови експлуатації гідравлічних олив в гідроприводі, враховуючи температурні режими і перемішування (контакт з киснем повітря). В якості показника термо окислювальної стабільності прийняті: коефіцієнт K_p поглинання світлового потоку окисленою оливою, в'язкість, летючість і коефіцієнт термо окислювальної стабільності [13].

З цією метою використовуються наступні прилади і пристрої: віскозиметр, прилади для визначення термо окислювальної стабільності і температури спалаху, центрифуга і фотометр, причому останній забезпечує пряму фотометрію олив, що виключає необхідність їх розбавлення розчинниками.

Універсальність методики оцінки якості гідравлічних олив полягає в можливості дослідження як нових так і працюючих. Відмінною особливістю при дослідженні працюючих олив є додаткові їх випробування, пов'язані з визначенням концентрації експлуатаційних домішок.

Для реалізації методики потрібна проба оливи масою 150 г, при цьому по 9 г використовувалося для виміру в'язкості і температури спалаху, 2 г оливи використовувалося для фотометрії і 125 г для випробування на термо окислювальну стабільність.

Схильність до окислення нових гідравлічних олив визначалася в діапазоні температур від 373°K до 443 °K впродовж 4-х годин (рис. 2.9.). Гідравлічні оливи МГ-46-В і МГ-15-В починають окислюватися при температурі більше 423 °K, а оливи МГ-15-Б і МГ-22-А не окислювалися навіть при температурі 443 °K. Тому для дослідження механізму окислення нових гідравлічних олив прийнятий діапазон температур від 413°K до 443 °K.

Схема реалізації методики приведена на рис 2.10, згідно якої олива перед випробуванням на термо окислювальну стабільність піддається фотометрії, визначається в'язкість і температура спалаху. При випробуванні на термо окислювальну стабільність проба оливи через дві години піддавалася фотометрії, визначенню в'язкості і вимірювалася маса оливи, що випарувалася, на електронних вагах [26].

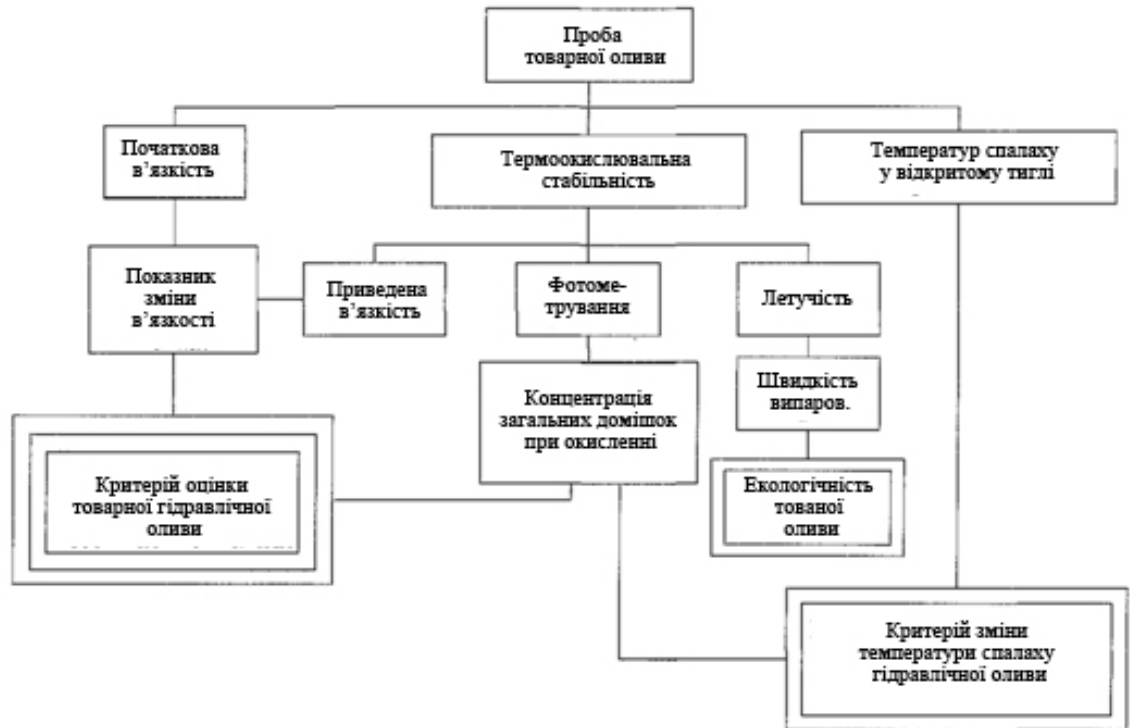


Рис. 2.10 – Комплексна методика дослідження гідравлічної оливи.

Методика дослідження працюючих гідравлічних олив (рис. 2.11) полягає у відборі проби оливи з гідросистеми масою не менше 160 г. Частину проби піддають фотометрії для визначення концентрації загальних (розчинних і нерозчинних в оливі) домішок і визначенню температури спалаху працюючої оливи. Порівнюючи значення температури спалаху нової і працюючої оливи, дозволяє судити про вплив режимів роботи гідроприводу на цей показник. Ступінь окислення оливи визначається за коефіцієнтом K_{no} поглинання світлового потоку, що визначається виразом:

$$K_{no} = \frac{300 - \Pi}{300} \quad (2.2)$$

де Π - показання фотометра при фотометрії оливи, мкА;

300 - показання фотометра без шару оливи, мкА.

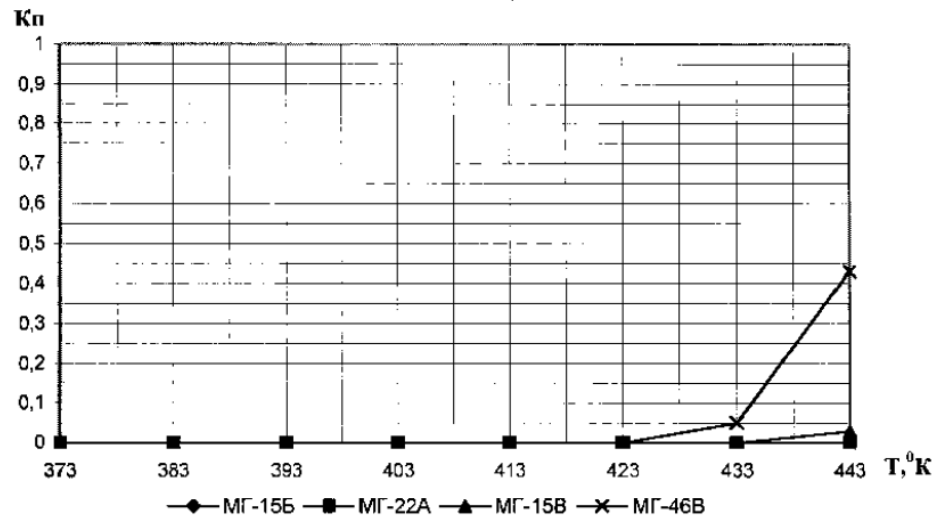


Рис. 2.11 – Залежність термо окислювальної стабільності гідравлічних олив від температури випробування.

Фотометрія гідравлічних олив проводиться при товщині фотометруючого шару 8 мм. Збільшення товщини фотометруючого шару підвищує чутливість фотометра і дозволяє оцінити окислювальні процеси малої швидкості. Проте при фотометрії працюючих олив при товщині фотометруючого шару більше 8 мм не дозволяє здійснювати пряму фотометрію, і вимагає їх розбавлення в розчинниках, що впливає на точність експерименту [14].

Вибір товщини фотометруючого шару менше 8 мм знижує чутливість фотометра і збільшує тривалість експерименту. Крім того, використання різної товщини фотометричного шару викликає незручності і додаткові погрішності при зіставленні результатів дослідження, тому в методиці прийнята товщина фотометричного шару постійною і рівною 8 мм.

Другим показником, що характеризує термо окислювальну стабільність прийнято відношення в'язкості окисленої нової оливи до вихідної.

Летючість гідравлічної оливи визначає його екологічність і частоту доливів, утворення парових пробок, визначається шляхом зважування проби до і після випробування на лабораторних електронних вагах [16].

Температура спалаху гідравлічних олив, характеризує температурний режим їх працездатності і пожежонебезпеки, тому визначення цього параметра при окисленні оливи дозволяє оцінити його зв'язок з механізмом окислення. Температура спалаху у відкритому тиглі вимірюється для нових олив перед випробуваннями на термо окислювальну стабільність і у кінці.

Нова олива випробовується впродовж часу, при якому коефіцієнт $K_{\text{по}}$ досягав значень 0,8-0,85. Остання проба оливи додатково піддавалася центрифугуванню, фотометрії і виміру температури спалаху. Різниця коефіцієнтів поглинання світлового потоку до центрифугування $K_{\text{по}}$ і після нього $K_{\text{щ}}$ характеризують диспергуючі властивості окисленої оливи.

2.8 Дослідження фотолюмінесценції гідравлічних олив

Світіння атомів, молекул, іонів і інших складніших комплексів,, що виникає в результаті електронного переходу в ці частки при їх поверненні зі збудженого стану в нормальний, називається люмінесценцією. Нині люмінесцентний аналіз охоплює широке коло методів визначення різноманітних об'єктів від простих іонів і молекул до високомолекулярних з'єднанні і біологічних об'єктів. Детектується люмінесценція самого об'єкту або його похідних, можливо також використання зміни люмінесценції специфічних агентів. Для складних проб люмінесцентне детектування поєднується з хімічним розділенням (хроматографія, електрофорез) або з біологічним виділенням (імуноаналіз, ПЦР).

Існує велика кількість різноманітних, як органічних, так і неорганічних речовин, що мають люмінесцентну здатність, яка може бути різною. Це викликає необхідність в класифікації явищ люмінесценції. У основу першої спроби такої класифікації була покладена тривалість процесу випромінювання. В результаті усі відомі види люмінесценції були розділені на два великі класи, що дістали назву флуоресценції і фосфоресценції. Під флуоресценцією розумілося світіння, миттєво (10^{-9}с) затухаюче після

припинення збудження; фосфоресценцією стали вважати світіння, що продовжує помітний проміжок часу ($> 10^{-6} \text{с}$) після припинення збудження.

Спектри люмінесценції розчинів більшості органічних речовин є широкими розмитими смугами. Тому у більшості випадків для ідентифікації органічних сполук доводиться поєднувати безпосереднє спостереження люмінесценції з частковим розділенням сумішей і проведенням перевірочних реакцій на окремі компоненти [19].

При кімнатній температурі спектри флуоресценції нафтопродуктів і їх аналогів складаються з дифузних смуг шириною приблизно 50 нм і більше, що у випадку навіть мало компонентної суміші заважає точній ідентифікації з'єднань із-за сильного перекривання смуг. Незважаючи на це, спектри флуоресценції при кімнатній температурі використовуються для уточнення інформації отриманою з УФ спектрів поглинання після багатоступінчастого розділення сумішей методом хроматографії.

Люмінесцентне визначення органічних сполук ґрунтоване головним чином на: а) прямих методах аналізу по флуоресценції або фосфоресценції з використанням відмінностей в умовах збудження випромінювання і випромінювання визначуваного з'єднання і супутніх компонентів; б) ефекті Шпольского; в) вимірі фосфоресценції при кімнатній температурі [36].

Методи аналізу нафтопродуктів, ґрунтовані на ефекті Шпольского, дозволяють визначати одночасно декілька індивідуальних з'єднань (головним чином ПАВ). Спектри люмінесценції мають цікаву особливість: в різних експериментах на одній і тій же гідравлічній емульсії (І-40А) реєструються різні спектри світіння, залежно від того, на яку ділянку робочого каналу націлений реєструвальний датчик спектрометра.

Подібні максимуми започаткували теорії високих температур в кавітуючих бульбашках (наприклад, із закону зміщення Вина в даному випадку виходить температура випромінювання $T = \frac{2.9 \text{ ммК}}{365 \text{ нм}} = 7950 \text{ К}$), що

згортаються. Тому визначення форми кривою грає дуже важливу роль для розуміння люмінесценції як фізичного явища.

Сама нафта є люмінесцентною речовиною, більше того, існують ґрунтовані на цьому факті методи її виявлення [24]; тому розглянута похідна нафти (олива І-40А) також має люмінесцентні властивості.

Приведено дані досліджуваль фотолюмінесценції оливи І-40А при збудженні випромінюванням УФ джерела з лініями 253, 265, 313, 365, 405, 436, 546 і 578 нм. (Рис. 2.12).

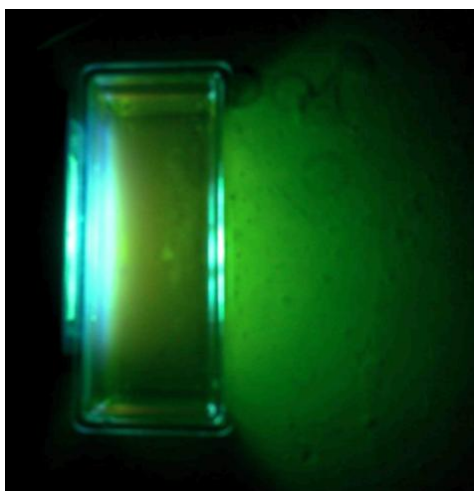


Рис.2.12. – Світіння гідравлічної оливи І-40А при опроміненні УФ – джерелом [21].

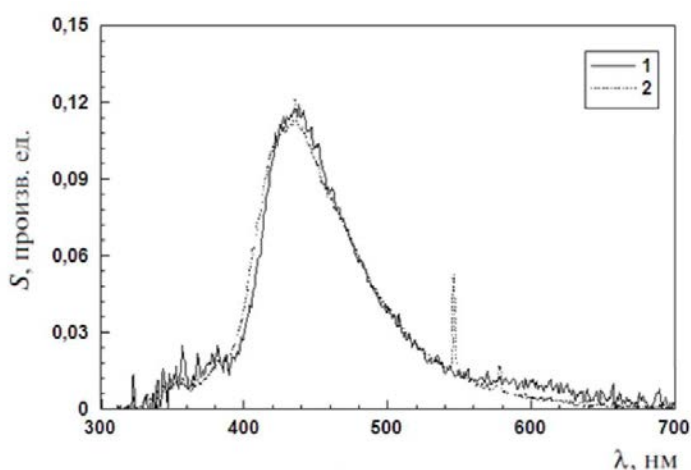


Рис.2.13. – Спектри гідролюмінесценції (1) і фотолюмінесценції (2) гідравлічної оливи І-40А [21].

Джерело УФ випромінювання розташовується над відкритою кюветою з досліджуваною речовиною, випромінювання реєструється через бічну

(кварцеву) поверхню кювети (рис.2.13) за допомогою спектрометра AvaSpec-2048. При збудженні УФ джерелом спостерігається люмінесценція оливи.

Спектр люмінесценції - це функція розподілу випромінюючої речовиною енергії по довжинах хвиль або частотах. Кожній смузі поглинання відповідає смуга флуоресценції. Спектр збудження - це функція розподілу випромінюваної речовиною енергії залежно від довжини (чи частоти) збудження. Спектри поглинання і збудження можуть відрізнятися із-за відмінності хімічних і фізичних властивостей молекул у збудженому стані в порівнянні з основним. Наприклад, молекули у збудженому стані характеризуються іншою геометрією і іншими міжатомними відстанями (тобто і іншими дипольними моментами) [22].

Особливості люмінесцентних вимірів при роботі із нафтопродуктами (в тому числі гідравлічними оливами):

1. Можливість розпізнавання об'єктів по способах збудження люмінесценції і їх параметрах. Наприклад, це може бути здійснено методами; фотолюмінесценції (по спектрах збудження), хемілюмінесценції (за параметрами реакції).
2. Можливість розпізнавання об'єктів за параметрами випромінювання, зокрема, по спектру випромінювання, по кінетиці висвічення.
3. Можливість реєстрації люмінесценції у відсутності інших світінь в спектральному діапазоні реєстрації.
4. Інтенсивність люмінесценції прямо пропорційна інтенсивності збудження.

Параметри люмінесценції молекул і іонів в конденсованому середовищі, як правило, сильно залежать від властивостей матриці і, в першу чергу, найближчого оточення. Завдяки цим особливостям можуть бути досягнуті низькі межі визначення і висока селективність кількісного аналізу складу гідравлічних олив.

РОЗДІЛ 3. АПРОБАЦІЯ МАКЕТУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИСПЕРСНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ОЛИВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЇ ДИФРАКТОМЕТРІЇ

Теорія розсіювання світла застосовна при вимірюванні інтенсивності як розсіяного світла (власне нефелометрія), так і ослабленого внаслідок розсіювання світла, що проходить (турбідиметрія). Після калібрування по суспензіям з відомими концентраціями можна визначати концентрацію дисперсної фази, що використовується в хімічному аналізі. Вимірюючи інтенсивність світлорозсіювання в розчинах при різних концентраціях, визначають молекулярні маси полімерів. Кутова залежність світлорозсіювання для великих часток, а також ступінь поляризації розсіяного світла дає інформацію про форму часток (або макромолекул).

Розподіл частинок за розміром знаходять досліджуючи залежність інтенсивності розсіяного випромінювання від кута (індикатрису розсіювання) при фіксованій довжині хвилі, і вирішуючи потім відповідну зворотну задачу.

Додатковий вклад у похибку вимірювання індикатриси розсіювання вносить поглинання світла. Це накладає істотні обмеження на вибір довжини хвилі, особливо при аналізі пофарбованих рідин.

Для несферичних частинок отримують відповідні розподілення еквівалентних сфер за розміром, оскільки метод передбачає використання сферичних частинок за розміром у своїй оптичній моделі.

3.1. Визначення концентрації та середнього розміру частинок емульсій полярних розчинів із вимірюванням коефіцієнту ослаблення спрямованого світла

В даний час широкого поширення набули оптичні методи визначення параметрів емульсій [22]. Найбільш часто застосовуються вимірювачі коефіцієнта ослаблення спрямованого світла (прозороміри), в основі яких лежить закон Бугера (1.1), відповідно до якого початковий потік

випромінювання Φ_0 , що пройшов в деякому середовищі шлях l , послаблюється цим середовищем до рівня Φ за формулою [8]:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot l) \quad (3.1)$$

де ε - показник ослаблення світлового потоку цим середовищем.

Оптичні прилади сконструйовані таким чином, що дозволяють отримувати електричні сигнали I_0 і I , пропорційні Φ_0 і Φ , відповідно.

Таким чином, для вихідних параметрів прозороміра рівняння (1.1) можна записати у вигляді [8, 10]:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot l), \quad (3.2)$$

звідки:

$$\varepsilon = \frac{1}{l} \ln \frac{I_0}{I}, \quad (3.3)$$

Метод вимірювання концентрації суспензії за допомогою прозоромірів передбачає, що між концентрацією суспензії і показником ослаблення існує лінійний взаємозв'язок. Найбільш часто застосовується метод визначення концентрації суспензії описаний в роботі [6; 2]. вимірювання показника ослаблення виробляються в червоній області спектра, де на нього не впливає жовта речовина. Концентрація суспензії визначається за формулою зв'язку $C = f(\varepsilon)$, знайденої по одночасним вимірюванням ε і концентрації суспензії в пробах нафтопродуктів.

Для визначення концентрації і середнього розміру великих частинок часто використовується метод флуктуації інтенсивності світла. Метод заснований на одночасному вимірюванні середнього значення інтенсивності котрий пройшов середу світла I і дисперсії флуктуацій цієї величини $D = (\overline{\Delta I^2})$. Для розрахунку параметрів суспензії використовуються наступні співвідношення [33]:

$$I = I_0 e^{-\tau}, \quad (3.4)$$

$$D = I_0^2 \frac{\varphi(\tau)}{nl} \quad (3.5)$$

де I_0 - інтенсивність падаючого пучка;

τ - середня оптична щільність середовища в пучку світла;

n - концентрація частинок;

l - довжина шляху світла в середовищі;

$\varphi(\tau)$ - спеціальна функція, що задається у вигляді таблиць.

Обчисливши τ і D по вимірним значенням I і I_0 , можна визначити середню площу поперечного перерізу частинок - S_0 , числову концентрацію частинок - n і середній радіус частинок - τ :

$$S_0 = \frac{DS\tau}{I_0^2\varphi(\tau)} \quad (3.6)$$

$$\tau = \ln \frac{I_0}{I} \quad (3.7)$$

$$n = \frac{\tau}{lS_0} \quad (3.8)$$

$$\tau = \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} \quad (3.9)$$

де S - площа перетину пучка світла.

Таким чином, метод флуктуацій дозволяє визначити концентрацію і середній розмір частинок суспензії. За результатами лабораторних експериментів метод флуктуацій забезпечує середню помилку у визначенні розмірів частинок близько 6% [16]. Метод може бути застосований і для несферичних частинок - в цьому випадку він дає середній поперечний переріз частинок в пучку.

Прозороміри дозволяють визначати інтегральне значення концентрації суспензії і її середній розмір, але не дають можливість для визначення розмірного складу. Важливою перевагою цього методу є можливість проводити вимірювання на місці, а також відносна простота конструкції приладів.

3.2. Нефелометричне визначення розмірного складу зваженої речовини

Серед оптичних методів дослідження емульсій, також широко використовуються нефелометричні методи визначення розмірного складу зваженої речовини. Принцип дії приладів, заснованих на цьому методі, полягає в вимірі світлової енергії, що розсіюється частками під кутами, відмінними від нульових по відношенню до напрямку падаючого світла.

Взаємодія найдрібніших частинок з падаючим світлом відбувається наступним чином: частка поглинає енергію світла і потім, стаючи точковим джерелом, випромінює світло на всі боки. Це випромінювання лежить в основі розсіювання падаючого світла. Просторовий розподіл розсіяного світла визначається відношенням розміру частки до довжини хвилі.

Частки розміром багато менше, довжини хвилі падаючого світла дають майже симетричне розсіювання, кількість світла, випромінюваного вперед і назад, майже однаково. З ростом розміру частки світло, що випромінюється з різних місць, створює інтерференційні картини. В результаті, інтенсивність світла, що розсіюється «вперед» більше, ніж інтенсивність світла, що розсіюється «назад» і по інших напрямках [13].

Розподіл часток за розмірами визначають з вирішення інтегрального рівняння першого роду для експериментальних даних.

Метод малих кутів є основним методом, що застосовується для дослідження концентрації та розмірного складу нафтопродуктів. Він використовується для аналізу великих частинок, розмір яких більше довжини хвилі зондуючого випромінювання.

Метод заснований на дослідженні розсіяного вперед зондуючого випромінювання. Основним співвідношенням для визначення функції розподілу часток за розмірами є наступне [14, 37]:

$$f(\rho) = -\frac{2}{\rho^2} \cdot \int_0^{\infty} F(\rho \cdot \gamma) \cdot \varphi(\gamma) \cdot d\gamma \quad (3.10)$$

де ядро має вигляд:

$$F(x) = x \cdot J(x) \cdot Y(x) \quad (3.11)$$

а функція виражається як:

$$F(x) = \pi \cdot \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^3 \cdot \frac{d}{d\gamma} \cdot \left(\frac{\bar{I}(\gamma)}{I_0} \cdot \gamma^3 \right) \quad (3.12)$$

Звідси випливає, що, визначивши $I(\gamma)$ і обчисливши $\varphi(\gamma)$, далі за формулою для кожного ρ знайдемо $f(\rho)$, визначивши тим самим розмірний склад суспензії.

Вимірювання світлорозсіювання за методом малих кутів проводиться за типовою схемою, представленою на рисунку 3.1. [37].

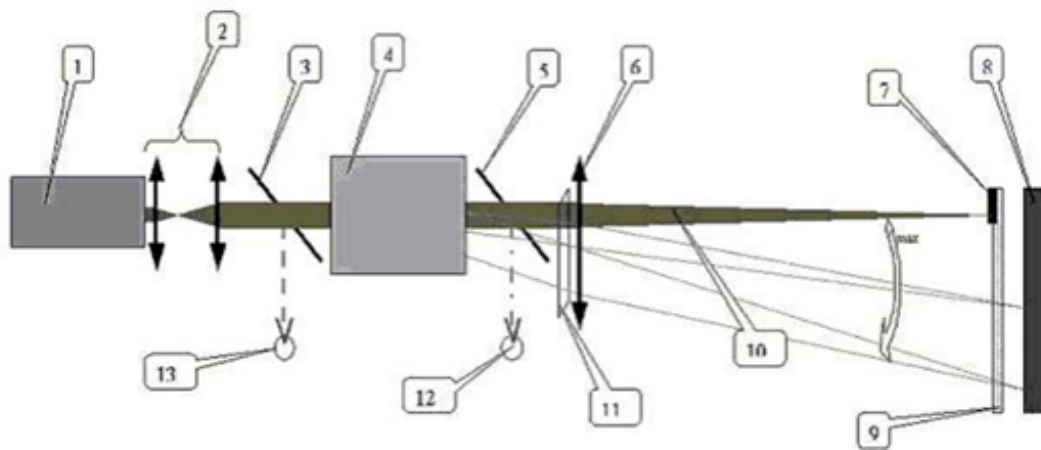


Рис. 3.1 - Функціональна схема малокутового нефелометра [33]

Основними елементами є: джерело когерентного випромінювання - випромінюючий лазер (1); розширювач лазерного променя - двохлінзова оптична система, вміщена в циліндричний металевий корпус (2), скло направляє частину вхідного світлового пучка на фотодіод для визначення інтенсивності випромінювання (3); скло направляє частину вихідного лазерного пучка на фотодіод для визначення інтенсивності випромінювання (5); підвісний знімний модуль робочої кювети з пробами морської води (4); довгофокусна збираюча лінза, що проектує зображення щілини у фокальній площині (6); жорстко фіксується система для фотоприймача (ПЗС-лінійки) (8). Безпосередньо перед фотоприймачем поміщається нейтральний фільтр (9) для зменшення паразитного засвічення і рухливий «ніж» (7), що обмежує

перетин прямого лазерного променя; щілину, вирізаючи з симетричною картини розсіювання радіальну смужку (11).

Принцип дії полягає в наступному: лазерне випромінювання, проходячи через кювету, розсіюється частками. Для визначення функції розподілу за розмірами необхідно виміряти індикатриси розсіювання $I(\gamma)$. Щоб позбутися від вихідного пучка, який заважає виділити сигнал при малих кутах розсіювання, вимірювання проводяться за межами фокальної плями, в якій зібраний вихідний пучок. При цьому переміщення частинок вздовж і поперек пучка не змінює розподіл інтенсивності в фокальній площині. Світло, розсіяне під таким кутом, розподілене в фокальній площині лінзи на відповідну кутову відстань від центра й утворює ореол навколо фокальної плями. Розміри фокальної плями зазвичай відповідають куту $\gamma_{\min} \approx 10^\circ$. Вимірювання $I(\gamma)$ проводяться для кутів $\gamma > \gamma_{\min}$ і захоплюють область до $\gamma \approx 4^\circ$.

Серед труднощів на шляху реалізації методу малих кутів, в першу чергу, треба відзначити неможливість отримання в експерименті тієї інформації, яка формально потрібна для звернення [34, 37]. Так, для розрахунку $f(\rho)$ ми повинні мати Індикатрису $I(\gamma)$ для всіх γ , від 0 до ∞ . В дійсності кути розсіювання γ , для яких можливі вимірювання індикатриси розсіювання, обмежені як знизу - деяким γ_{\min} , так і зверху - γ_{\max} . Це головна проблема всіх точних методів поводження [38].

Область застосування методу обмежується також наступними припущеннями:

а) Розсіювання світла відбувається безвідносно до інших частинок, тобто не враховується інтерференція хвиль, розсіяних окремими частинками. Критерієм відсутності інтерференції прийнято вважати співвідношення $l = 5\lambda$ де λ - довжина хвилі падаючого світла, l - відстань між частинками. Гранична відстань між частинками, при якому можна ще не враховувати

інтерференцію хвиль, розсіяних кожною частинкою, $l = 3r$, де r - радіус частинки. Відстань між частинками в умовах щільної упаковки:

$$l = \pi \cdot \left(\frac{4\pi r^3}{3q} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.13)$$

де q - об'ємна відносна концентрація дисперсної фази.

Звідси $q_{\max} = 0,16$, що перевищує значення q в дослідницьких задачах.

б) Одноразове розсіювання. Критерієм виконання даного допущення служить:

$$\tau = \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \leq 0,3 \quad (3.14)$$

де I - інтенсивність розсіювання.

в) Завдання звернення інтегрального рівняння і знаходження функції розподілу за асимптотичними формулами вирішується тільки за умови:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_0 \cdot r}{\lambda} \gg 20 \quad (3.15)$$

де m_0 - показник заломлення;

λ - довжина хвилі.

З цієї умови можна отримати мінімальний радіус частинок, при якому ще можна користуватися формулою:

$$r_{\min} = \frac{10\lambda}{\pi} \quad (3.16)$$

г) Всі частинки мають сферичну форму або близькі до неї. При визначенні спектра частинок несферичної форми, можливо, використовувати кілька способів оцінки розмірів частинок. В одному з них дійсний розподіл часток за розмірами замінюється розподілом за розмірами сферичних частинок. Другий спосіб оцінки розмірів частинок заснований на тому, що для еліпсоїдальних частинок з малим ексцентриситетом індикатриса розсіювання світла, усереднена по різним просторовим орієнтаціям, збігається з Індикатрисою кулі того ж обсягу. Середня індикатриса хаотично

розташованих паличок так само збігається з Індикатрисами куль того ж обсягу.

Однак, незважаючи на всі перераховані вище обмеження саме цей метод найбільш часто застосовується для дослідження емульсій нафтопродуктів [34]. В даний час більшість існуючих приладів для вимірювання параметрів суспензії засновані саме на цьому методі зокрема його різновиду - методі лазерної дифракції

3.3 Аналіз динамічного розсіювання світла

Положення динамічного розсіювання світла використовуються для виміру дифузії монодисперсних часток, що диспергуються в рідині. Хаотичний броунівський рух дисперсних часток призводить до мікроскопічних флуктуацій їх локальної концентрації і відповідним локальним неоднорідностям показника заломлення середовища. При проходженні лазерного променя через таке середовище частина світу буде розсіяна на цих неоднорідностях. Флуктуації інтенсивності розсіяного світла відповідатимуть флуктуаціям локальної концентрації дисперсних часток. Інформація про коефіцієнт дифузії часток міститься в залежній від часу кореляційній функції флуктуацій інтенсивності. Тимчасова автокореляційна функція згідно з визначенням має наступний вигляд [37]:

$$G(\tau) = \langle I(0)I(t-\tau) \rangle = \lim_{t_m \rightarrow \infty} \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} I(t)I(t-\tau) dt \quad (3.17)$$

де інтенсивність I має різні значення під час t і $(t-\tau)$. t_m - цей час інтеграції (час накопичення кореляційної функції). Очевидно, що при $\tau=0$, автокореляційна функція дорівнює середньоквадратичній інтенсивності розсіювання $\langle I^2 \rangle$. Для нескінченного часу кореляція відсутня, і автокореляційна функція дорівнює квадрату середньої інтенсивності розсіювання :

$$G(\tau) = \langle I(0)I(t-\tau) \rangle = \langle I(0) \rangle \langle I(t-\tau) \rangle = \langle I^2 \rangle \quad (3.18)$$

Відповідно до гіпотези Онзагера, релаксація мікроскопічних флуктуацій концентрації до рівноважного стану може бути описана першим законом Фіка (рівнянням дифузії) [34]:

$$\frac{\partial c(\vec{r}, t)}{\partial t} = -D \nabla^2 c(\vec{r}, t) \quad (3.19)$$

де $c(\vec{r}, t)$ - концентрація і D - коефіцієнт дифузії часток. Можна показати, що в такій системі автокореляційна функція інтенсивності розсіяння світла експоненціально затухає в часі, і характерний час релаксації однозначно пов'язаний з D . Кореляційна функція інтенсивності розсіяного світла (для випадку квадратичного детектування) має вигляд:

$$G(\tau) = \alpha \exp\left(-\frac{2\tau}{t_c}\right) + b \quad (3.20)$$

де відповідно до рішення рівняння дифузії зворотний час кореляції рівний:

$$\frac{1}{t_c} = D_t q^2 \quad (3.21)$$

Хвильовий вектор флуктуацій концентрації описується виразом:

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.22)$$

У виразах 4-6: a і b - експериментальні константи, n - показник заломлення рідини, в якій зважені дисперсні частки, λ - довжина хвилі лазерного світла і θ - кут розсіяння.

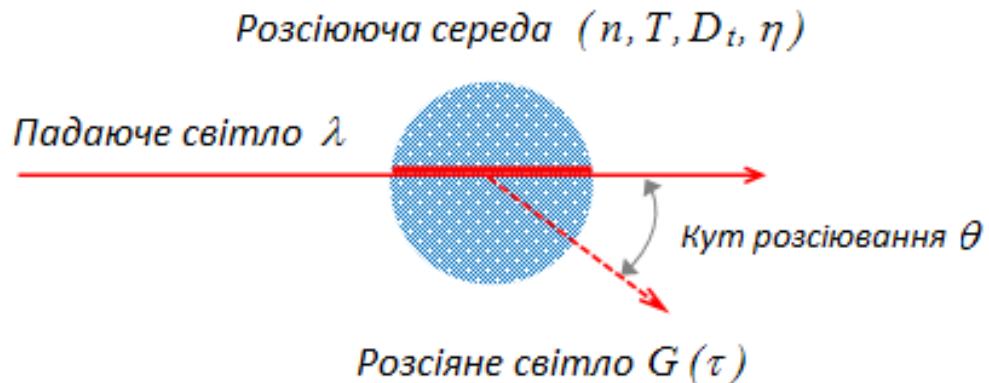


Рис. 3.2 – Схема процесу розсіяння світла [33]

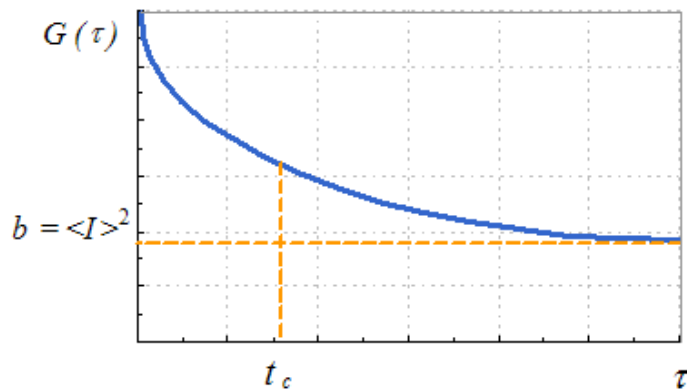


Рис. 3.3 – Автокореляційна функція розсіяного світла [36]

Величини t_c , a і b можуть бути знайдені шляхом апроксимації вимірної кореляційної функції теоретичною експоненціальною функцією. Для сферичних часток, що не взаємодіють між собою, розмір їх може бути розрахований з використанням формули Стоксу-Ейнштейна [8]:

$$D = \frac{k_b T}{6\pi\eta R} \quad (3.23)$$

де k_b - константа Больцмана, T - абсолютна температура і η - зсувна в'язкість середовища, в якому зважені частки радіусу R .

З формули Стоксу-Ейнштейна зрозуміло, що за допомогою динамічного розсіяння світла можна вирішувати завдання виміру в'язкості рідини. Для випадку розсіяння світла на дисперсних частках відомого розміру, вимірний характерний час флуктуацій дозволяє розрахувати в'язкість рідини. Причому в даному випадку можна говорити про в'язкість мікрореології, яка, в принципі, може відрізнятися від в'язкості, вимірної на макроскопічних масштабах.

Проблема апроксимації експериментальних даних проста для розглянутого випадку розсіяння світла монодисперсними сферичними частками. Для полідисперсних зразків інтерпретація експериментальних даних ускладнюється. Для реально досяжної точності вимірів можуть бути отримані тільки два-три параметри одномодального полідисперсного розподілу: середній розмір часток, ширина і асиметрія розподілу.

Для багатомодальних полідисперсних систем можна говорити про середні розміри часток кожної компоненти і відносний вклад кожної компоненти в інтенсивність розсіяння. Важливо відмітити, що два близькі розміри часток полідисперсної системи дозволятимуться у вигляді окремих компонент тільки, якщо їх розміри відрізняються один від одного не менше, чим в 2-3 рази.

3.4. Вимір розмірів часток в малопрозорих дисперсних середовищах

Метод виміру розмірів часток в малопрозорих дисперсних системах ґрунтований на використанні оригінальної геометрії зворотного розсіяння світла. Розсіяне світло збирається з пристінкової області входу лазерного променя в досліджувану рідину.

Сильне поглинання світла в малопрозорих системах призводить до істотного зменшення інтенсивності розсіяння, що ускладнює детектування розсіяного світла. З іншого боку, сильне поглинання світла усуває ефекти багатократного розсіяння світла, які спотворюють результати вимірів в концентрованих розчинах (рис. 3.4). Цей метод успішно застосовувався у багатьох дослідженнях непрозорих систем, таких як барвники, розчини асфальтенів, нафти, моторних та гідравлічних емульсій та ін.

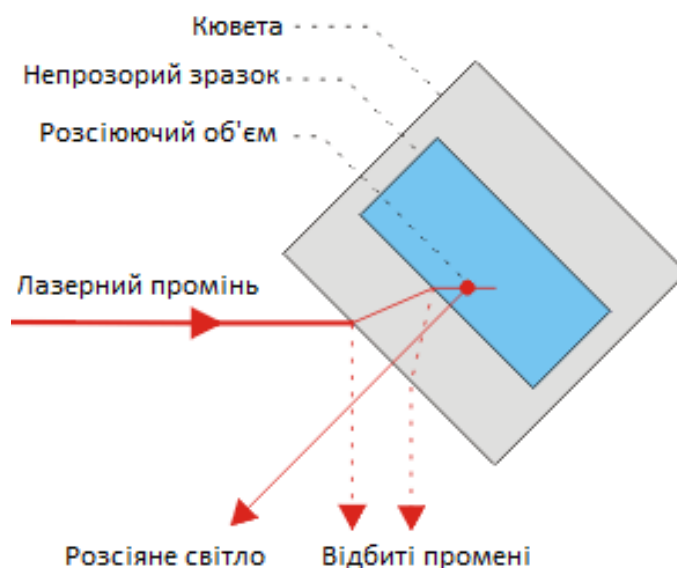


Рис. 3.4 – Оптична схема виміру розмірів часток в малопрозорих дисперсних середовищах [10]

Прямокутна кювета розташовується під кутом 45° по відношенню до падаючого променя. Оптична вісь фотоприймальної системи перпендикулярна до площини вхідного вікна кювети. Розсіяне світло збирається з області входу лазерного променя в досліджувану рідину.

Спеціальний адаптер кювети і додаткове облаштування зміщення падаючого променя, дозволяє змінювати положення розсіювального об'єму відповідно до експериментальних умов [16].

Потужність падаючого лазерного променя, може ослаблятися для відвертання паразитного ефекту "теплової лінзи".

3.4 Лазерна дифрактометрія дисперсних показників полярних розчинів

Як відомо, під дифракцією розуміють обумовлене хвилевою природою світла явище відхилення від законів поширення світла геометричної оптики, виникаюче при проходженні світла в середовищі з різкими оптичними неоднорідностями. Дифракційне поле, що утворюється при цьому, несе в собі інформацію про геометричні розміри і форму об'єкту дифракції, що дозволяє вимірювати їх за параметрами дифракційного розподілу

Успішне застосування дифракції для виміру і контролю у більшості випадків ґрунтується на вивченні явища дифракції на об'єктах, які у цілому ряді випадків можна вважати плоскими екранами. Тобто це такі об'єкти, геометричними розмірами яких у напрямі опромінення, можна нехтувати. До них відносяться всілякі види щілин, отворів, проміжків, діафрагм, штрихів і тому подібне.

При розгляді дифракційних завдань можан говорити про одновимірні і двовимірні об'єкти. В даному випадку поняття "двовимірний" і "одновимірний" відноситься не безпосередньо до об'єктів контролю, а до їх тіньових проекцій.

При цьому одновимірність має на увазі лише те, що в області контролю проекція об'єкту не має межі по одній з координат. Це наближення цілком справедливе, оскільки у більшості випадків протяжність об'єкту у напрямі осі

опромінення мала і не робить істотного впливу на вигляд ДК. Тому в якості критерію в дифракційних завданнях зазвичай приймають, що характерний розмір отвору (екрану)

Міжнародним стандартом на основі методу статичного розсіяння світла являється стандарт ISO 13320-1 : 2009, на основі якого розроблений ГОСТ Р 8.777-2011. Термін "статичне" в назві методу "статичне розсіяння світла" вказує на статичний розподіл інтенсивності в пробі.

Схема лазерного дифракційного аналізатора, що реалізовує метод статичного розсіяння світла згідно ДСТУ Р 8.777-2011 представлена на рис. 3.5.

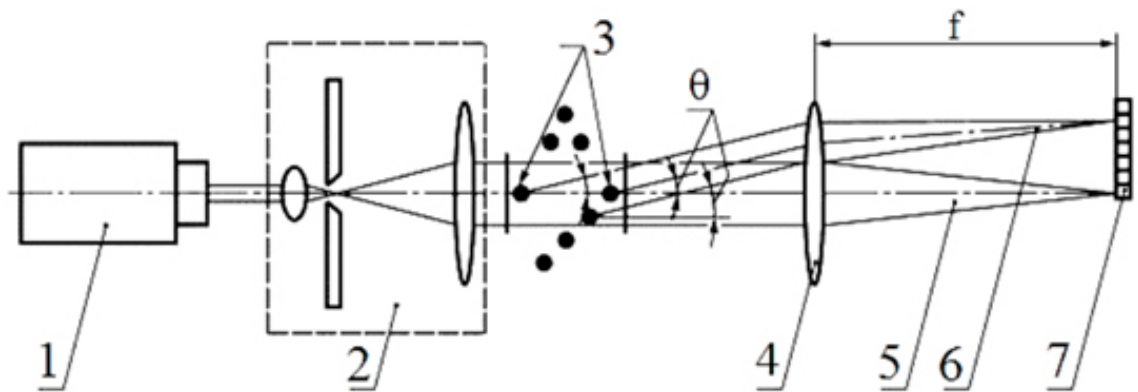


Рис. 3.5 - Схема лазерного дифракційного аналізатора: 1 - лазерне джерело світла; 2 - формувач променя; 3 - дисперсні частинки в зразку; 4 - лінза; 5 - нерозсіяний промінь; 6 - розсіяне випромінювання; 7 - фотоприймальний детектор; θ - кут розсіювання; f - фокусна відстань лінзи

У методі лазерної дифракції промінь лазера освітлює частки, що знаходяться в зоні виміру аналізатора, при цьому вимірюється кутова залежність інтенсивності розсіяного частками світла (індикатриса розсіювання). Профіль інтенсивності залежить від розмірів і оптичних характеристик часток : інтенсивність розсіювання на малі кути вище для більших часток.

Для того щоб отримати прийнятне співвідношення «сигнал - шум» в детекторі, концентрація частинок в дисперсії повинна перевищувати мінімальний рівень. Також вона повинна бути менше максимального рівня для уникнення багаторазового розсіювання.

На діапазон концентрацій впливають: ширина лазерного променя, відстань, яку проходить променем лазера в зоні вимірювання, оптичні властивості частинок і чутливість елементів детектора. Вимірювання необхідно проводити при різних концентраціях частинок для визначення оптимального діапазону концентрацій для кожного характерного зразка матеріалу.

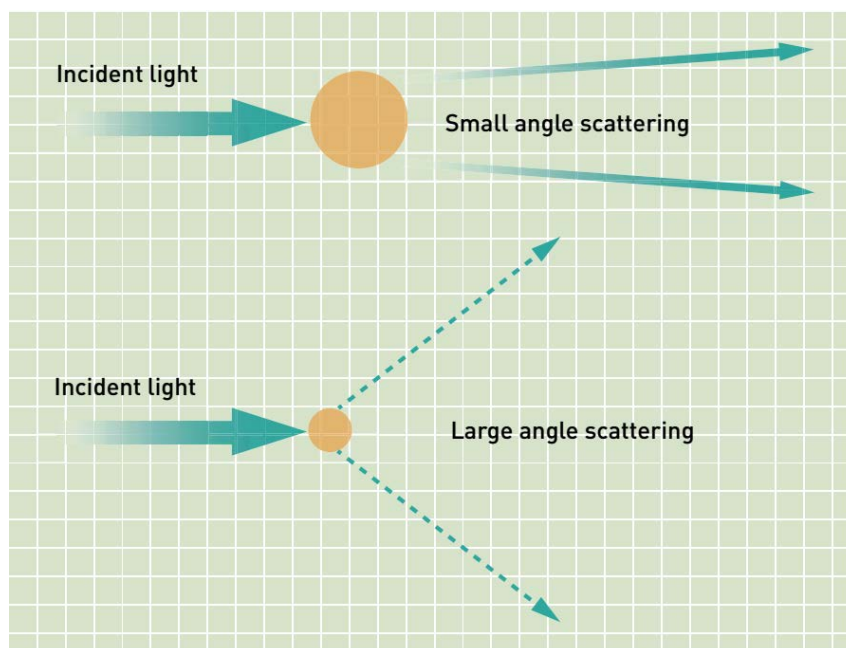


Рис. 3.6. Схема утворення дифракційної картини при світлорозсіюванні на мілкодисперсних частках у розчинах [37].

На підставі даних кутової залежності інтенсивності розсіяного світла відновлюється розподіл часток по розмірах, яке забезпечує отримання індикатриси розсіювання на підставі теорії Мі максимально близької до експериментальної. При цьому обчислювані розміри часток - це діаметри сфер еквівалентних (вимірюваним часткам) об'ємів.

3.5 Характеристики вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в гідравлічних емульсіях

Нині розроблено безліч приладів на основі методу статичного розсіювання світла, наприклад, Horiba LA - 960 (Horiba, Ltd, Японія), Analysette 22 (Fritsch GmbH, Німеччина), Saturn DigiSizer 5205 (Micrometrics,

США) Bettersizer S3 (Bettersize Instruments Ltd, Китай) [49] і ін. У разі потреби отримати відомості як про розмір, так і форму часток використовують методи аналізу зображень.

1. Аналізатор розміру часток BetteBettersizer ST використовує для аналізу метод лазерної дифракції. Дозволяє проводити гранулометричний аналіз дисперсних систем. Інноваційні оптичні розробки аналізаторів серії Bettersizer ST забезпечують стабільні і надійні результати вимірів з мінімальним втручанням користувача. А компактний розмір устаткування (660 мм x 420 мм) Bettersizer ST зберігає цінний робочий простір.



Рис. 3.7 - Аналізатор розміру часток BetteBettersizer ST.

Bettersizer ST має діапазон виміру розмірів часток від 0.1 мкм. до 1000 мкм .; Двохлінзова оптична система (DLOS) : особливу оптичну система забезпечує результати високої точності; автоматичне калібрування і тестування : забезпечує високу відтворюваність результатів.

Таблиця 3.1

Специфікація аналізатору розміру часток BetteBettersizer ST.

Загальні	Bettersizer ST
Принцип роботи	Лазерна дифракція
Аналітична теорія	Мі і Франгофер
Швидкість виміру	3 кгц

Типовий час виміру	≤ 10 с.
Розмір часток	
Діапазон виміру розмірів	0.1 - 1000 мкм
Правильність	$\leq 1\%$
Відтворюваність	$\leq 1\%$
Дозвіл	Один пік, подвійний пік, мульти-пік
Оптика	
Лазер	3 мвт, Напівпровідниковий волоконний лазер, 635 нм
Схема лінз	Одна лінза
Ефективна фокусна відстань	300 мм
Детектор	
Схема	Масив
Кількість	86 шт (передні, бічні, задні)
Коректування траєкторії світла	Інтелектуальна система автоматичної корекції
Система диспергування зразка	
Тип диспергування	Рідинний
Система диспергування	Ультразвукова 50 Вт, 38 кГц, система захисту від пересихання
Циркуляція рідини	Центробіжний насос, 3000-8000 мл / хв, автоматичне споживання і промивання рідини
Обсяг	600 мл
Програмне забезпечення	
21 CFR частина 11	Підтримується
Звіт	Більше 14 форматів звітів
Авто тестування	Можливо
Експорт даних	Excel, Pdf, Word, Jpg та ін.
Живлення і розміри	
Напруга	220В
Розміри	660 мм x 420 мм x 320 мм (Д x Ш x В)
Вага	38 кг
Специфікація комп'ютера	
Комп'ютерний інтерфейс	USB2.0, USB3.0
Операційна система	Windows XP, Windows 7, 8 або 10
Вимоги до ПК	Intel Core I5, 4GB RAM, 250GB HD

2. В аналізаторах серії Mastersizer 3000 використовується метод лазерної дифракції для аналізу розподілів частинок за розмірами в діапазоні від 10 нм до 3.5 мм.

Запатентована П-образна оптична схема Mastersizer 3000 забезпечує покриття широкого діапазону розмірів часток : від 10 нм до 3.5 мм, з використанням фіксованої оптичної конфігурації (і однолінзової системи). Для покриття усього розмірного діапазону з високим розділенням використовується вимір і обробка сигналу розсіяння на двох довжинах хвиль. Точний вимір сигналу великих часток можливий завдяки високочутливому детектору фокальної площини з високим кутовим розділенням. Висока чутливість в нанодіапазоні (менше 100 нм) досягається в силу специфіки оптичної конфігурації і використання 10 мВт твердотілого джерела синього світла.

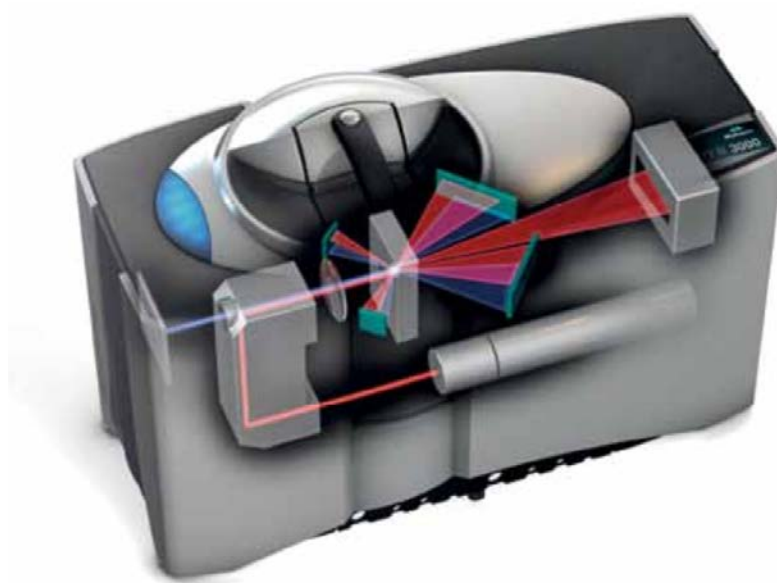


Рис. 3.8 – Структурна схема лазерного аналізатору Mastersizer 3000

Аналізатори розмірів часток Mastersizer використовуються в щоденній виробничій практиці по всьому світу. Основні технічні характеристики аналізатора : об'єктивність і коректність його функціонування - верифіковані: Точність при вимірі стандартних зразків полістиролового латексу (водна суспензія) краще чим 1%. Повторюваність при вимірі стандартних зразків

полістиролового латексу краще чим 0.5%. Відтворюваність результатів аналізу полідисперсних стандартних зразків краще чим 1% що перевершує вимоги ISO 13320 : 2009 і USP <429>

Таблиця 3.2

Основні технічні характеристики аналізаторів MASTERSIZER 3000

Вимірювані характеристики	Типи зразків	
Розподіл часток за розмірами (гранулометричний склад)	Суспензії, емульсії, сухі порошки	
Фундаментальні характеристики		
Принцип вимірювання	Розсіювання лазерного світла (лазерна дифракція)	
Аналіз	Теорія Мі, наближення Фраунгофера	
Частота реєстрації даних	10 кГц	
Характерна тривалість вимірювання	<10 секунд	
Характеристики оптичної системи	Mastersizer 3000	Mastersizer 3000E
Джерело червоного світла	Максимальна потужність 4 мВт, 632.8 нм, He-Ne лазер	Максимальна потужність 4 мВт, 632.8 нм, He-Ne лазер
Джерело синього світла	Номінальна потужність 10 мВт, 470 нм, напівпровідниковий	Відсутнє
Оптична схема	Зворотня Фур'є конфігурація (сходиться промінь)	Зворотня Фур'є конфігурація (сходиться промінь)
Ефективна фокусна відстань лінзи	300 мм	300 мм
Детектор		
Розташування елементів	Логарифмічні інтервали	Логарифмічні інтервали

Продовження таблиці 3.2

Кутовий діапазон реєстрації розсіяного світла	Від 0.015 до 144 градусів (одноразова реєстрація у всьому діапазоні)	Від 0.032 до 60 градусів (одноразова реєстрація у всьому діапазоні)
Юстирування	Автоматична	Автоматична
Характеристики аналізу розмірів частинок		
Діапазон вимірювання розмірів частинок	0.01 – 3500 мкм *	0.1 – 1000 мкм *
Кількість розмірних класів	100 (можливе додаткове налаштування користувачем)	100 (можливе додаткове налаштування користувачем)
Клас лазера	Клас 1, IEC 60825-1: 2007 і CRF глава 1: Розділ J: Частина 1040 (CDRH)	
Нормативи	Відповідність вимогам RoHS і WEEE Відповідність CE / FCC Відповідність вимогам ICES / C-tick / VCCI	
Маса і габарити (оптичний модуль)		
Габарити	690 мм x 300 мм x 450 мм (ДхшхВ)	
Маса	30 кг	
Експлуатаційні параметри		
Електроживлення	100/240 В, 50/60 гц	
Температура зберігання	від -20 ° С до + 50 ° С	
Температура при експлуатації	від + 5 ° С до + 40 ° С	
Клас захищеності (IP)	IP41B	
Характеристики комп'ютера		
Інтерфейс	Не менше 1 високошвидкісного USB порту	
Операційна система	Windows 7 professional (32 bit и 64 bit)	
Апаратне забезпечення	Апаратне забезпечення Intel Core i5, 4 гб RAM, 250 гб HD, CD-ROM або DVD +/- RW, широкоекранний монітор	

3. Аналізатори розмірів часток лазерні HORIBA модифікацій LA - 300, LA - 950 призначені для виміру дисперсних параметрів (розмірів часток і

функцій розподілу часток по розмірах) суспензій, емульсій і порошкоподібних матеріалів.

Принцип дії HORIBA LA ґрунтований на реєстрації оптичного випромінювання, розсіяного частками в кюветі аналізатора. Як джерело випромінювання використовується лазерний діод з довжиною хвилі 650 нм. У модифікації LA - 950 додатково застосовується світлодіод з довжиною хвилі 405 нм. Випромінювання під різними кутами реєструється за допомогою високочутливого багатоелементного детектора. По вимірній залежності інтенсивності розсіяного випромінювання від кута розсіяння здійснюється розрахунок розподілу часток по розмірах.

Конструктивно аналізатори складаються з одного блоку, в якому розміщується оптико-аналітична система і система пробопідготовки зразків в рідині. Модифікація LA - 950 додатково може комплектуватися системами сухого диспергування і диспергування зразків в малих об'ємах рідини (від 35 до 55 см³).

Управління аналізаторами здійснюється за допомогою персонального комп'ютера за допомогою інтерфейсів RS - 232c (модифікація LA - 300) і USB (модифікація LA - 950).



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд аналізаторів розмірів часток лазерних HORIBA.

В аналізаторах, що визначають розподіл часток за розмірами за допомогою лазерної дифракції, використовується фізичний принцип

розсіювання електромагнітних хвиль. Конструкція складається з лазера, через вимірювальний осередок спрямованого на детектор.

Таблиця 3.3

Метрологічні і технічні характеристики HORIBA модифікацій LA - 300, LA - 950

Модифікація Аналізатора	Вид диспергування зразка	Діапазонів розмірів часток, мкм	
		Діапазон вимірів	Діапазон свідчень
La - 300	В рідині	0,3 – 300	0,1 – 600
La - 950	В рідині	0,1 – 1000	0,01 – 3000
	Суше	10 – 1000	0,1 – 3000

Таблиця 3.4

Габаритні розміри і маса аналізаторів

Модифікація аналізатора	Габаритні розміри (Д x Ш x В)мм	Маса, кг	Споживана потужність, В·А
LA - 300	420 × 296 × 320	25	150
LA - 950	704 × 530 × 450	56	300

Частинки подаються в вимірювальну комірку і проходять крізь лазерний промінь. Світло, розсіяне пропорційно розміру часток, за допомогою лінзи фокусується на детектор. За розподілом розсіяного світла за допомогою комплексної математики розраховують розподіл часток по їх розмірам. В результаті отримують об'ємні частки, відповідні еквівалентним діаметрам за лазерної дифракції

3.6. Положення геометричної теорії дифракції.

Геометрична теорія дифракції була запропонована Келлером [33] як узагальнення результатів асимптотичних розкладань дифракційних

інтегралів. І хоча ГТД будується як асимптотична теорія, вживана в тих випадках, коли характерний розмір об'єкту a багато більше довжини хвилі λ , досвід розрахунків по ГТД показує, що вона дає достовірні результати аж до величин a порядку λ [33].

У ГТД разом з відображенням і заломленням, постулюються промені, що породжуються променями первинного поля, що стосуються тіла або тіла (ребра, вістря), що потрапляють на злами поверхні. Кожен промінь первинного поля породжує нескінченну безліч дифрагованих променів.

При нормальному падінні випромінювання на тонку плоску апертуру постулати ГТД можуть бути сформульовані таким чином:

- кутові точки контура апертури, що породжують дифракційні промені на всіх напрямках, є джерелами сферичних хвиль;
- контур апертури породжує крайову хвилю, кут розчину конуса її променів рівний $\pi/2$. Для прямолінійного краю хвиля є циліндричною, а для криволінійного тороїдальною;

Вторинними дифрагованими променями зазвичай можна нехтувати, оскільки вони виникають від променів тих, що поширюються в площині апертури, амплітуда яких мала.

Величина дифракційного поля в точці Q обчислюється як сума дифракційних хвиль [36]:

$$U(x, y, z) = \sum_n U_n(x, y, z) \exp(iks_n) \quad (3.24)$$

Цей вираз являє собою суму дифракційних полів, що відповідають кожному з дифракційних променів, що прийшли в точку Q ; Sn - ейконал уздовж n го променя. $U_n(x, y, z)$ - комплексний амплітудний коефіцієнт, що називається також коефіцієнтом дифракції. Його фізичний сенс - "сила" деякого віртуального джерела світла, розташованого в точці виходу променя.

Таким чином, алгоритм вирішення дифракційної задачі по ГТД зводиться до визначення положення постульованих джерел дифракційних хвиль і подальшого складання комплексних амплітуд цих хвиль в точці

спостереження. Фактично це означає, що дифракційне задача зводиться до інтерференційної і формула для інтенсивності $I(Q) = U(Q) \cdot U^*(Q)$ співпадає з інтерференційною формулою Юнга [9]

$$I(Q) = \sum_n I_n(Q) + 2 \sum_{n \neq m} \sqrt{I_{m,n}(Q) I_{n,m}(Q)} \cos(\Delta_{m,n} + \delta_{m,n}) \quad (3.25)$$

Тут $\Delta_{m,n}$ - різниця фаз для хвиль джерел, обумовлена геометричною різницею ходу; $\Delta_{m,n} = k(s_m - s_n)$; $\delta_{m,n}$ - початкове відносне фазове зрушення хвиль, що інтерферують; $k = 2\pi / \lambda$. Амплітуди дифрагованих хвиль і відносні фазові зрушення у рамках ГТД не визначаються; для їх знаходження необхідно використати дані, отримані із загальнішої теорії.

Модель формування ДК по ГТД наведено на рис 3.7. Для зони дифракції Фраунгофера досить розглянути інтерференцію дифракційних променів, що йдуть в одному напрямі

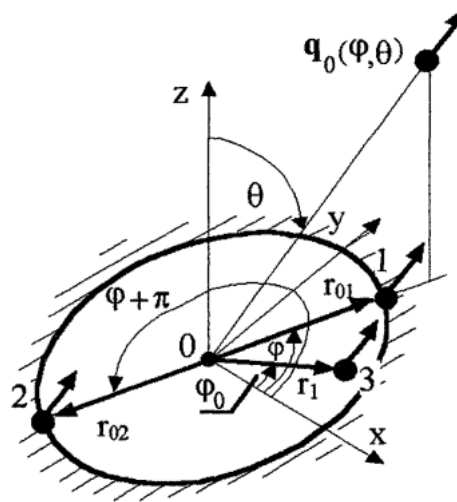


Рис. 3.7 – Схема джерел випромінювання для ГТД моделі [38].

Скористаємося сферичною системою координат. Задамо напрям спостереження вектором $q(\varphi, \theta)$. Координати точок виходу променів (ТВЛ), дифрагованих в заданому напрямі задаватимемо радіус векторами. Кутові точки контура завжди являються ТВЛ. Для прямолінійних ділянок контура в ГТД як ТВЛ постулюється точка, що відповідає середині ділянки контура.

На криволінійних ділянках контура ТВЛ, виявляються "рухливими" - їх положення залежить від напрямку спостереження. Число ТВЛ, що беруть

участь у формуванні дифракційного поля в заданій точці, залежить від напрямку спостереження. Для далекої зони завдання можна розглядати як двовимірну на площині з полярними координатами $(p = k \sin \theta; \varphi)$, оскільки положення точок відриву променя, що йде в заданому напрямі, не залежить від θ [20]. Таким чином в моделі ГТД приходимо до завдання на площині.

Така постановка завдання робить її наочнішою, дозволяючи обмежитися розглядом дифракційного завдання в площині апертури. На площині модуль вектору $q(\varphi, \theta)$ рівний $\sin \theta$.

У ГТД присутня сітка екстремумів поля дифракції, яка визначається різницями фаз хвиль, що інтерферують, $\Delta_{m,n} = k(s_m - s_n)$. Лінії, уздовж яких різниця фаз цих компонент постійна, т. е. ліній, де $k(s_m - s_n) = \text{const}$ визначають структуру ДК.

Під терміном "структура" розумітимемо сукупність зон ДК, в кожній з яких дифракційне поле формується взаємною інтерференцією характерного набору дифракційних хвиль. Цей набір можна класифікувати за наступними ознаками: типу дифрагованих хвиль (визначається згідно з формою хвильового фронту і рівнем амплітуди); і кількості хвиль [36].

Як вже було відмічено, виділяється три типи дифрагованих хвиль : сферичні хвилі кутових; точок; тороїдальні хвилі криволінійних ділянок контура і циліндричні хвилі прямолінійних ділянок контура. Відповідно до специфіки утворення вони можуть значно відрізнятися один від одного по амплітуді. Їх амплітуди можуть бути рівними; схожими і такими, що різко відрізняються один від одного. Хвилі рівної амплітуди, як правило, відносяться до одного типу, а що відрізняються по амплітуді - до різних. Що стосується кількості хвиль, що інтерферують, то цю ознаку необхідно розглядати з урахуванням амплітуд хвиль.

Це можна проілюструвати на прикладі апертури у формі прямокутного сектора (рис. 3.8). Контур апертури містить два прямолінійних і одну криволінійну ділянку - дугу кола, і три кутові точки. Зона I область дії

циліндричних хвиль - дві вузькі смуги, що лежать уздовж осей координат. Зона II зона дії тороїдальної хвилі дуги в 1-ій і 3-ій чверті. Таким чином, 2-а і 4-а чверті - зона III, практично вільні від впливу крайових хвиль, і ДК тут формується тільки хвилями кутових точок.

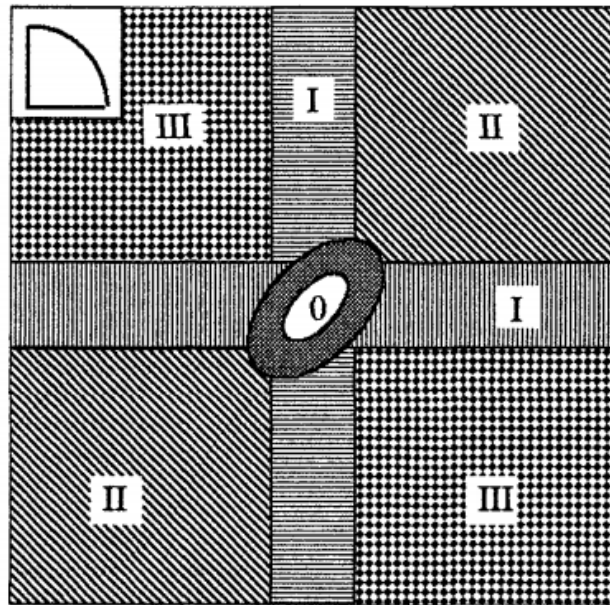


Рис. 3.8 – Карта зон дифракційної картини [34]

Нульова зона - область існування моментного еліпса. Структура модуляції ДК, обумовлена взаємною інтерференцією дифрагованих хвиль, досить складна, і буде детально розглянута пізніше.

Усе вищесказане дозволяє зробити опис характерних зон ДК Фраунгофера в наближенні ГТД. У центрі - яскрава пляма, що має форму моментного еліпса апертури, поверненого на 90° . Прямолінійним ділянкам контура апертури в ДК відповідають відносно вузькі яскраві смуги, орієнтовані нормально відповідній ділянці. Криволінійним ділянкам відповідають темніші зони ДК, орієнтовані у напрямі осі сектора.

Між цими зонами ДК поле формується слабким випромінюванням кутових точок, тому середня інтенсивність тут найнижча. Зони дії різних дифракційних хвиль можуть перекриватися, і із-за процесу інтерференції розподіл інтенсивності не буде однорідним, але принцип виділення характерних зон зберігається

3.7. Визначення контрасту дифракційної картини

Проблема використання стандартного визначення поняття контрасту ДК пов'язана із специфікою зміни інтенсивності : вона з одного боку асимптотично згасає з великою швидкістю, причому для різних напрямів швидкість згасання може відрізнятися, а з іншого боку змінюється і сам вид ДК. Для характеристики якості ДК необхідно зменшити кількість її інформаційних параметрів.

Потрібно усунути параметр ДК, пов'язаний із швидкістю згасання, що дозволить представити її в регулярнішому виді, спростити процес реєстрації і подальшого перетворення. Найбільш оптимальними варіантами зменшення діапазону інтенсивностей в ДК є різні способи оптичної просторової фільтрації. Найчастіше закон пропускання фільтру вибирається з умови вирівнювання розподілу інтенсивності в межах усього реєстрованого спектру. В результаті цієї операції розподіл інтенсивності в ДК за фільтром набуває синусоїдального вигляду. Розподіл інтенсивності в перерізі вирівняної ДК можна представити в наступному виді [38]:

$$\sin^2(x) = \frac{[1 - \cos(2x)]}{2} \quad (3.26)$$

Синусоїдальний розподіл інтенсивності викликає "перерозподіл" енергії в спектрі сигналу. Фур'є-спектр вирівняної ДК має дві яскраво виражені лінії, що відповідають нульовій просторовій частоті і основному періоду вирівняної ДК (рис. 3.9).

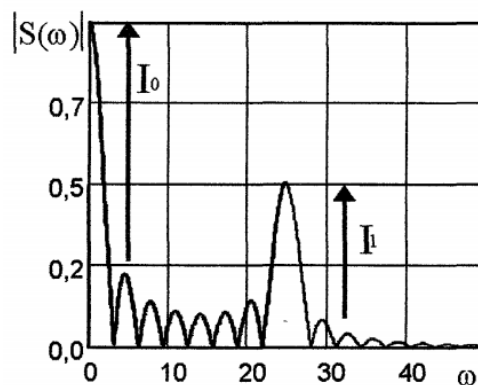


Рис. 3.9 – Фур'є-спектр дифракційної картини виміру мілкодисперсних часток у розчинах [38].

Спектр вирівняного розподілу інтенсивності вже є інтегральною характеристикою перерізу ДК і істотно не залежить від числа реєстрованих дифракційних пелюсток.

Типові об'єкти дифракції, як показано вище, мають фур'є-спектр, який умовно можна представити у вигляді гармонійної функції, загасання твору функції на ту, що визначає загасання спектру. Перетворення розподілу інтенсивності необуреної ДК (вирівнювання) приводить її до виду аналогічному розподілу інтенсивності при інтерференції двох плоских хвиль.

3.9. Вимірювання показників дисперсності гідралічних емульсій вимірювальним макетом на базі лазерного дифрактометра ВЛД-1М2.

Вимірювальний макет на базі лазерного аналізатору дисперсності використовує лазерну дифракцію світла, засновану на принципі, що частинки малого розміру відхиляють промінь світла на великий кут, тоді як частинки великого розміру відхиляють його на малий кут (рис. 3.10). Вимірявши дифракцію, комп'ютер методом найменший квадратів визначає те розподілення частинок по розмірам, яке найкращим чином відповідає отриманій дифракційній картині.

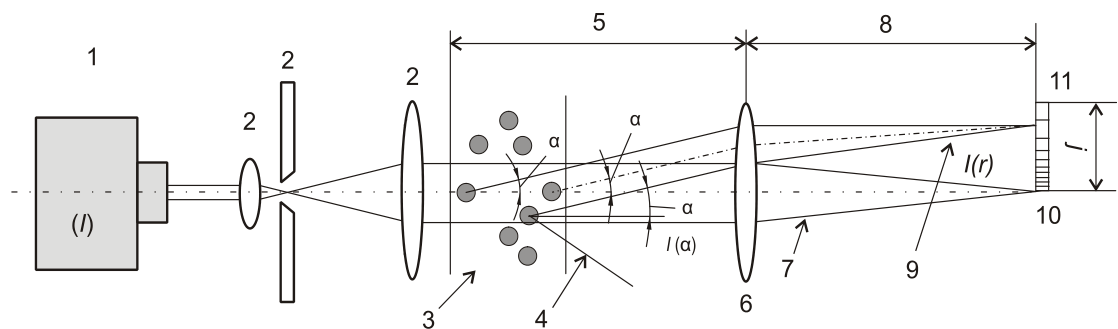


Рис. 3.10 – Схема приладу визначення розміру частинок методом лазерної інтерферометрії (вимірювальний макет на базі аналізатору дисперсності ВДЛ1-М2): 1 – джерело лазерного випромінювання; 2 – модуль обробки лазерного випромінювання, 3 – частинки, 4 – розсіяне світло, не зібране лінзою (6), 5 – робоча відстань лінзи (6), 6 – лінза Фур'є, 7 – прямий луч, 8 – фокусна відстань лінзи (6), 9 – розсіяний луч, 10 – детектор затемнення, 11 – багатоелементний детектор (TAOS TSL1406R) [29].

Усередині детектору 786 пікселів працюють у послідовному (Serial) режимі формуючи 2 потоки даних і формують інтерфераційну інтенсивність розсіяного випромінювання в площині реєстрації (рис. 3.12, 3.13).

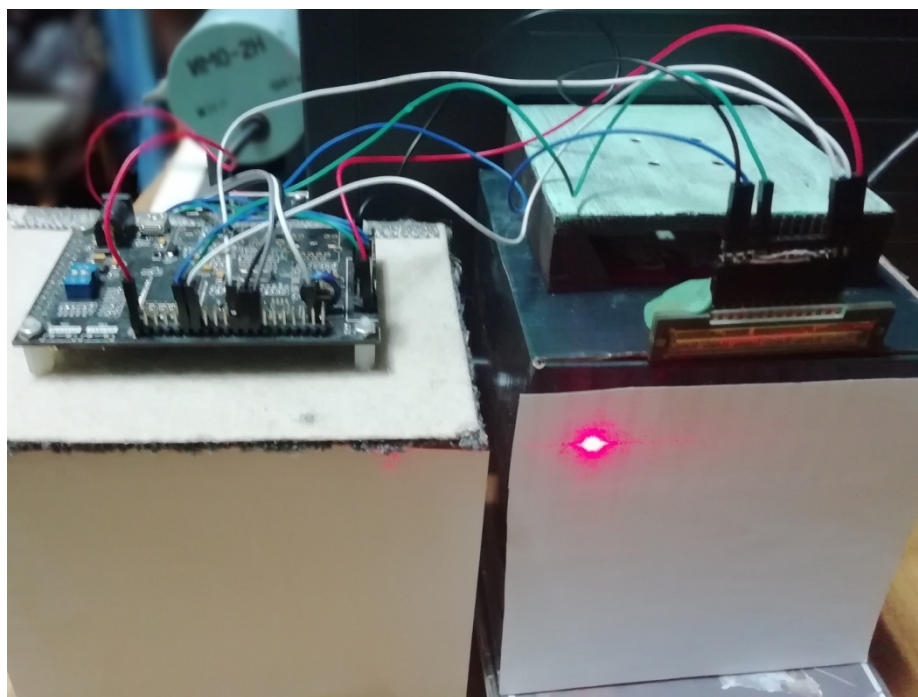


Рис. 3.12. Зовнішній вигляд блоку реєстрації дифракційної картини лазерного випромінювання під час калібрування (ПЗЗ лінійка TAOS TSL1406R під керуванням мікроконтролеру STM32F103).

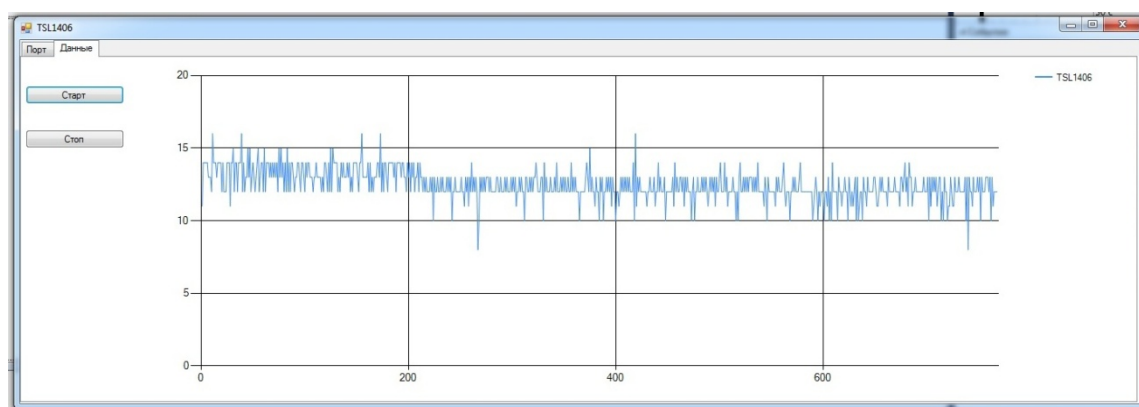


Рис. 3.13. Реєстрація інтенсивності засвітки ПЗЗ лінійки TAOS TSL1406R лазерним випромінюванням що пройшло чезер зразок.

Монохроматичний пучок світла, випромінюваний генератором лазерного випромінювання, проходить через корпус вимірювача (кювети) з поміщенням в неї зразком або через потік рідини у проточному варіанті. При

цьому відбувається світлова дифракція від частинок, незалежно від їх руху. По мірі того, як частинки входять в освітлену зону і покидають її, виникає дифракційна картина, що відображає собою інтегрування даних упродовж відповідного часу виходить результуюча картина виміру для всього представленого об'єму зразку. Лінза створює картину розсіювання, яка не залежить від розташування частинок у світловому промені

Розсіяне світло не може покинути площинну фотодіодної лінійки при куті будь-якої величини, так як при переході від оптично більш щільного середовища в більш розріджене із визначеного кута починається повне внутрішнє відбиття. Таке світло вимірюється на детекторі спеціальними методами математичної обробки. У прямому напрямку розсіяного випромінювання (нижня межа вимірювання $\sim 0,1$ мкм) за допомогою цієї конструкції визначається діапазон кута розсіювання (до 60°).

Можна проводити вимірювання для широкого діапазону розмірів часток, використовуючи зворотне перетворення Фур'є [28] Дана методика вимірювань має просту оптику для детектування розсіяного світла, яка не потребує налаштування додаткових датчиків

Як відомо, складний сигнал на вході лінійних систем часто буває зручно представляти у вигляді ряду простіших сигналів. Тоді, обчисливши відгуки системи на кожен з цих «елементарних» сигналів і склавши їх, можна знайти повну реакцію системи. В основі такого розкладу лежить аналіз Фур'є [17].

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \exp(i2\pi ft) df \quad (3.27)$$

Рівняння виражає функцію часу g через її частотний спектр. Цей вираз можна розглядати як представлення функції $g(t)$ у вигляді лінійної комбінації (тобто Інтеграла) елементарних функцій характерного вигляду $\exp(i2\pi ft)$. Очевидно, комплексне число $G(f)$ являє собою просто ваговий коефіцієнт, на який слід помножити елементарну функцію частоти f при синтезі шуканої функції $g(t)$. Спектром Фур'є G функції g є набір вагових множників, на які слід множити кожен з елементарних функцій, щоб отримати функцію g [17].

Сполучення лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2 із персональним комп'ютером здійснюється за допомогою мікроконтролеру, що реалізує безпосередній зв'язок з вузлами комплексу, управління ними, а також збір вимірювальної і діагностичної інформації. Персональний комп'ютер при цьому виконує функції, пов'язані з обробкою, поданням і документуванням вимірювальної та допоміжної робочої інформації, налаштуванням і діагностикою комплексу і формує масиви первинних даних. Сполучення з персональним комп'ютером повинно здійснюватися за допомогою інтерфейсу USB (COM-порт в сучасних комп'ютерах практично не зустрічається) (рис. 3.4). Альтернативним варіантом може бути також використання бездротового інтерфейсу (Наприклад, ZigBee або Bluetooth). Крім того, можлива також реалізація мережевого доступу до вимірювального макету.

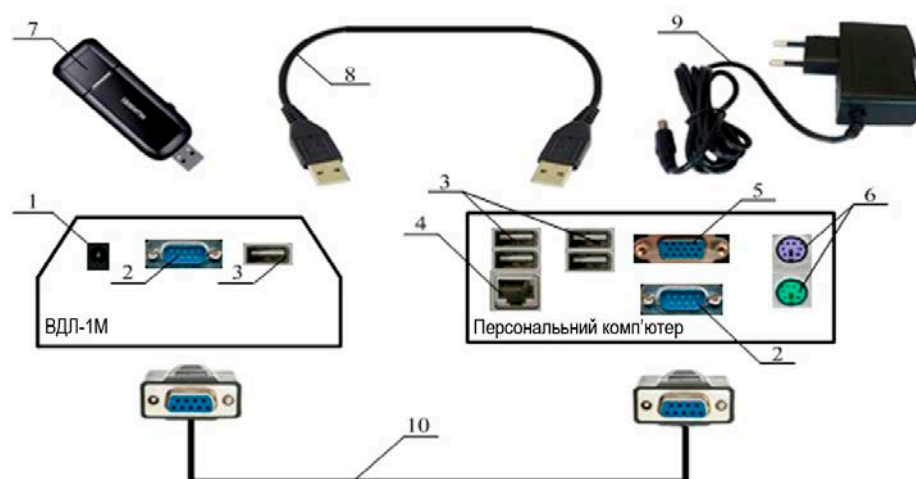


Рисунок 3.14 – Схема підключення структурних елементів макету [29]

1 – роз'єм живлення 12В; 2 – роз'єм VGA для каналу передачі даних; 3 – роз'єм USB для відеокамери; 4. – роз'єми на системному блоці комп'ютера для підключення до мережі Інтернет; 5 – роз'єм VGA для монітору; 6 – роз'єми PS/2; 7 – радіочастотний модуль у випадку використання бездротового інтерфейсу; 8 – кабель USB; 9 – зовнішній блок живлення 12В; 10 – інтерфейс VGA для підключення відеосигналу детекторів.

Метод лазерної дифракції, або відхилення випромінювання під малим кутом (*Low Angle Laser Light Scattering – LALLS*) [28]. У методі лазерної

дифракції використовується апроксимація Фраунгофера для отримання масиву вхідних даних, що включає виміри середнього діаметру (D_{avr}), лічильної (N_{sm}^3), об'ємної концентрації ($W_{\%}$) малорозмірних частинок, присутніх досліджуваних зразках.

Лазерний промінь, що потрапляє на частинки зносу та агрегаційні скупчення в основній дисперсній фазі гідравлічної оливи відхиляється від свого первісного напрямку і розсіюється. Кутовий розподіл розсіяного світла залежить переважно від розміру часток, довжини хвилі лазерного випромінювання і показника заломлення середовища. Отриманий розподіл часток за розміром може відрізнятися від розподілів, заснованих на інших фізичних принципах (наприклад, седиментації або ситовому визначенні).

Виміри дисперсійних характеристик гідравлічних олив включали вимірювання розмірних характеристик часток мікронного розміру, присутніх в зразках нативної гідравлічної оливи, та оливи що піддавалася модифікаційним змінам в процесі експлуатації. Були проведені виміри об'ємної концентрації часток мікрогенного розміру у зразках гідравлічних олив, що були надані колективу кафедри НАЕПС НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» одним із провідних дистриб'юторів паливно-мастильних матеріалів в Україні.

Результати виміру дисперсійних характеристик гідравлічних олив що використовувалися у рухомих гідравлічних вузлах вантажопідйомних механізмів представлені у вигляді інтегрального об'ємного розподілу часток за розміром (рис. 2). Значення масиву D_{avr} відображають відносний розмір часток що формують об'ємну концентрацію часток мікрогенного розміру $W_{\%}$ в досліджуваних зразках. Отримані результати свідчать про збільшення мілко- дисперсних часток усіх розмірних діапазонів у зразках відпрацьованої гідравлічної оливи в межах заданого діапазону лінійності вимірювального макету (0,5-50 мкм).

На рис. 4.15 наведені розмірні спектри зразків гідравлічних олив відомих зарубіжних виробників, виміряні за методикою лазерної

дифрактометрії; при цьому передбачалося, що розсіяне випромінювання збирається в інтервалі кутів $1^\circ < \theta < 10^\circ$. За цими спектрами були визначені значення функція розподілу частинок по розмірах (d) і відносна концентрація розмірних часток N .

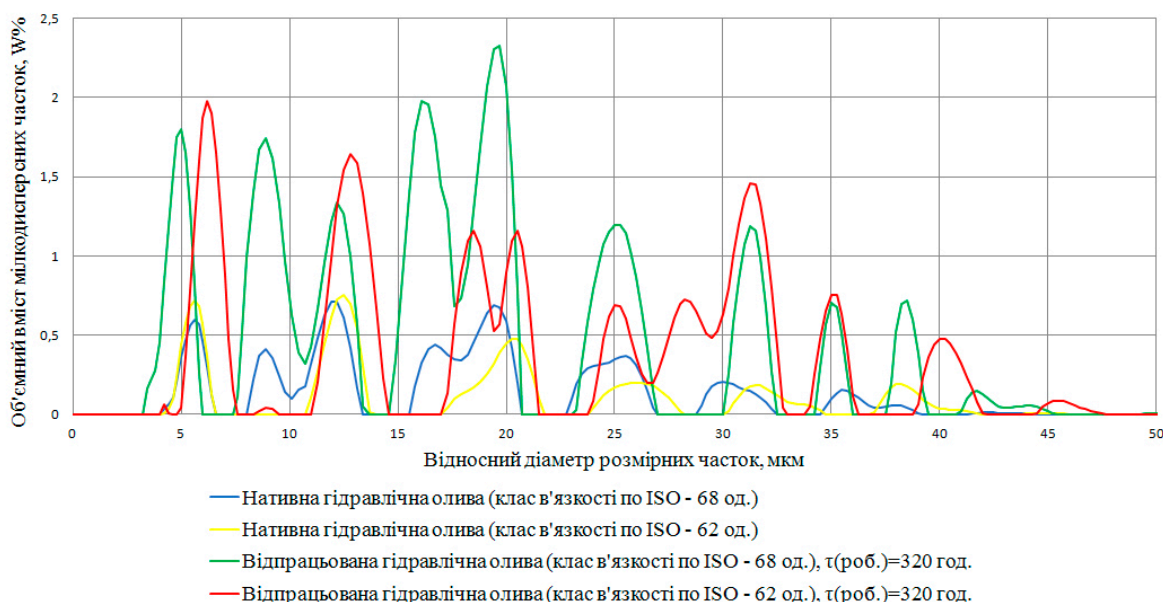


Рис.4.15 – Дисперсійні характеристики зразків нативних гідравлічних олив та олив що пройшли 2 повних експлуатаційні цикли роботи (320 год) у рухомих гідравлічних вузлах вантажопідйомних механізмів.

Представлені види гідравлічних олив, із відносною в'язкістю відповідно 62 та 68 одиниць, використовувалися в однакових умовах експлуатації, на вантажопідйомних транспортних засобах 2015 року виготовлення із загальним періодом технічної експлуатації 3400 годин, про що свідчить паспорт технічної експлуатації транспортних засобів. Результати дисперсних характеристик гідравлічних сумішей бралися як середнє арифметичне 40 рівнозначних вимірів. Рівень достовірності експерименту складає $P=0,95$ при $n=40$.

Відповідно до результатів проведених вимірів, прослідковується динаміка відносного збільшення часток розмірних спектрів 7-12 мкм та 15-21 мкм у зразку 3 відпрацьованої гідравлічної оливи, що пов'язано із більшою відносною густиною нативної гідравлічної оливи. Підвищення стійкості гідравлічних олив до розкладу здійснюють шляхом легування їх

антиокисними присадками. Проте при тривалій експлуатації активність присадок зменшується.

Відомо, що молекули присадки адсорбуються на металевій поверхні і утворюють захисний шар, що виключає контакт вуглеводнів з металом [2]. Через деякий час адсорбований шар молекул присадки під дією високих температур, взаємодії з металом і киснем повітря переходить в дисперсну фазу, яка не здатна утримуватися на металевій поверхні. При русі оливи продукти розкладання присадки, що утворилися, відносяться потоком, а місце, що звільнилося, відновлюється новими молекулами присадки. Таким чином, олива із більшою питомою густиною створює додаткові адгезійні фактори, що спричиняють підвищений вміст мілко дисперсних часток в діапазоні 0,5-50мкм.

Дифракція лазерного променя на сьогоднішній день є найбільш ефективним методом аналізу розподілу часток за розмірами в широкому діапазоні вимірювання (від 10 нанометрів до декількох міліметрів). Перевагами даної технології в порівнянні з класичними методами вимірювання - фільтрацією, седиментацією, є дуже малий час виміру, автоматизація процесів (настройка, процес вимірювання, очищення), а також висока точність і відтворюваність результатів вимірювань

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ»

4.1 Опис ідеї проекту

Ефективність експлуатації механічних засобів, що містять у своєму складі елементи гідравлічного приводу, можна оцінити по собівартості здійсненої ними роботи, яка залежить від витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на ремонт та технічне обслуговування. Знижуючи ці витрати шляхом оптимізації строків гідравлічних олив та емульсій, можна значно підвищити ефективність експлуатації рухомого складу, одночасно із цим підвищуючи їх експлуатаційну надійність. Строки заміни гідравлічних олив за пробігом або напрацюванням, які рекомендує завод виробник, не завжди достатньо обґрунтовані.

Основні фізико-хімічні показники якості гідравлічних олив та емульсій не завжди досягають граничних значень при досягненні рекомендованого інтервалу заміни, внаслідок чого гідравлічна емульсія придатна до подальшої експлуатації відбраковується, що збільшує витрати у кожному експлуатаційному циклі вантажопідйомної техніки. Ресурс та надійність елементів гідравлічного приводу в значній мірі залежать від того, в якій мірі використовувана гідравлічна емульсія по всім характеристикам відповідає в даних експлуатаційних умовах потрібним вимогам. Фахівці по мастильним матеріалам вважають, що 80% зносу рухомих елементів гідравлічного приводу припадає на останні 20% терміну служби оливи, тому основним завданням є визначення оптимальних інтервалів заміни гідравлічних мастильних матеріалів в рухомих елементах гідравлічного приводу

Короткий аналіз, проведений в області оцінки якості мастильних матеріалів, показав, що приладове забезпечення і методична база, в основному, спрямовані на оцінку термоокислювальної стабільності, нагаро - і коксоутворення, вимірювання показників в'язкості і корозійної стійкості паливно-мастильних матеріалів.

Вміст забруднень і максимальні розміри часток в гідравлічних оливах визначають по проміжках прецизійних елементів рухомих гідравлічних агрегатів. Безвідмовна робота гідравлічної системи забезпечується видаленням з гідравлічних олив часток, що перевищують по розмірах половину ширини проміжку між сполученими деталями гідравлічних агрегатів. Але через технічні обмеження, і з економічних міркувань ця вимога нині не може бути задоволена, тому чистота гідравлічних олив вважається задовільною, якщо розміри часток в ній дорівнюють ширині найменшого проміжку в агрегатах.

Контроль дисперсності (мікрогенного стану) гідравлічної емульсії за допомогою вимірювального макету на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2, наявність в ній розмірних фракцій певних розмірів є дієвим фактором оцінки якості робочих рідин гідравлічного приводу у випадку застосування неруйнівних методів та засобів експрес контролю. Своєчасний контроль дисперсності робочого тіла гідравлічного приводу дозволяє забезпечити ефективне функціонування вантажопідйомних машин.

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначити чи наш продукт має шанси вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій вимірювальних макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2	Визначення розмірних показників мікрогенних включень гідравлічних емульсій	Впевненість в нормальному функціонуванні гідравлічного приводу.
	Вхідний контроль нативних гідравлічних олив та емульсій при застосуванні в конкретних моделях вантажопідйомних механізмів відповідно до умов їх технічної експлуатації	Контроль робочих характеристик гідравлічного приводу неруйнівними методами експрес-контролю

Продовження таблиці 5.1.

	Прогнозування робочих характеристик гідравлічного приводу залежно від умов його застосування	Нормування експлуатаційних циклів для конкретного типу елементів гідравлічного приводу
	Дотримання експлуатаційних вимог до застосування гідравлічних емульсій в рухомих елементах гідравлічного приводу	Своєчасна заміна гідравлічних мастильних матеріалів в польових умовах

Основними конкурентами на ринку контролю дисперсних характеристик в полярних розчинниках є аналізатори Fritsch Analysette 22 MicroTec, NanoTec, Fritsch Analysette Compact, Malvern Mastersizer 3000ES.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Для формування конкурентоспроможності запропонованого товару на ринку визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї. Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слаб- ка сто- рона)	N (ней- трльна сторо- на)	S (сильна сторо- на)
		Мій проект	Конку- рент1	Конку- рент2	Конку- рент3			
1.	Вартість приладу, грн	45 000	135 000	73 000	175 000	-	-	+
2.	Швидкість встановлення	15-40 сек	<60сек.	<60сек	5-10 хв.	-	-	+
3.	Вартість обслуговування	800	4200	2600	4500	-	-	+
4.	Відсоток браку	4	2	1	0	+	-	-
5.	Затрати на виробництво	Високі	Середні	Низькі	Середні	+	-	-
6.	Відносини з органами державної влади	Добрі	Добрі	Нейтра льні	Нейтра льні	-	+	-
7.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-

Отже, пропонується удосконалений метод та апробація приладу для експрес-аналізу дисперсних показників гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2. Уточнення строків заміни гідравлічних олив та емульсій залежить від їх початкового потенціалу фізико-хімічних властивостей та швидкості його вичерпання, умов експлуатації гідравлічного приводу в транспортних засобах, а також від бракувальних показників якості, які відображають фактичний стан емульсії під час експлуатації гідравлічних елементів вантажопідйомних машин.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методу визначення), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій	Створення технології та апробація засобу контролю мікрогенних включень гідравлічних емульсій засобами та методами рентгенофлуорисцентної спектrophотометрії	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод малодоступний
2.	Розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій	Створення технології та апробація засобу контролю мікрогенних включень гідравлічних емульсій засобами та методами кондуктометрії	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
3.	Розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій	Створення технології та апробація засобу контролю мікрогенних включень гідравлічних емульсій седиментаційними методами та методами гравіметричного осадження	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
4.	Розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій	Створення технології та апробація засобу контролю мікрогенних включень гідравлічних емульсій засобами та методами ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) та парамагнітного МР	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод недоступний
5.	Розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій	Створення технології та апробація засобу контролю мікрогенних включень гідравлічних емульсій засобами та методами лазерної дифрактометрії у видимому та ІЧ діапазонах довжин хвиль	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка методу та апробація оптико-електронної вимірювальної системи контролю дисперсності гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2			Розробка технології контролю мікро дисперсних включень гідравлічних емульсій методами та засобами лазерної дифрактометрії	

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект можна реалізувати за допомогою більшості методів, які доступні на даний момент, але серед доступних нам ми обираємо метод лазерної дифрактометрії та будемо використовувати його для реалізації нашої ідеї.

Пропонований вимірювальний засіб має значно менші габаритні розміри та енергоспоживання порівняно із конкурентними методами наведеними в таблиці 5.3, та є переносним. Вимірювальний прилад містить спрощену оптичну систему, зменшується металоємкість виробу. Вимірювальний засіб може бути відкалібровано для вимірювання показників дисперсності широкого спектру гідравлічних емульсій для використання у експрес-діагностиці.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	450 000 (10х45 000)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патентування продукту, середня конкуренція, високий показник якості обслуговування.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ 12536-79 ДСТУ 15093-90, ДСТУ 1.7-2001
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	32%

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Спрощення та прискорення визначення часток мікрогенного розміру в гідравлічних емульсіях та оливах	1. Підприємства різних форм власності які експлуатують машини та механізми із використанням гідравлічного приводу 2. Контролюючі лабораторії в парках автотранспортних засобів. 3. Підприємства, які реалізують паливно-мастильні матеріали на території України, або купують її для експорту.	1. Забезпечення технічних стандартів які встановлюються при експлуатації рухомого складу із елементами гідравлічного приводу. 2. Після купівлі нашого засобу вимірювань із інтегрованим програмним забезпеченням клієнт може користуватися ним для коригування експлуатаційних вимог транспортних засобів із гідравлічним приводом	- до продукції Невеликі розміри приладу. Можливість проведення досліджень в польових умовах. Невелика чутливість приладу до зовнішніх чинників. Можливість виведення результатів на комп'ютер. Безперебійна робота приладу. Зрозуміле управління приладом. Великий термін експлуатації. - до компанії-постачальника Відповідність приладу заданим характеристикам. Можливість технічної підтримки при виникненні проблем. Ввідний інструктаж по роботі з приладом.

При купівлі даного продукту клієнт може зіткнутися з певними проблемами. Для їх попередження і швидкого виправлення необхідні створення та доставка якісного приладу, наявність висококваліфікованих працівників для роботи із засобом вимірювань, забезпечення сприятливих умов роботи з вимірювальним засобом на об'єкті замовника для своєчасного усунення можливих технічних проблем в роботі вимірювального засобу (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною.	Вивчення продукції конкурентів та вдосконалення своєї, для задоволення всіх потреб користувачів.
2.	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3.	Світова криза може спричинити зменшення ємності ринку перевезень і відповідно масштабів застосування вантажопідйомного рухомого складу в транспортно логістичних операціях	Може вплинути на коло потенційних покупців.	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4.	Постачання	Проблема із фірмами постачальниками електронних елементів вимірювального макету	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Збої в роботі приладу.	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

Наявність певних загроз реалізації продукції дозволить вдосконалювати прилад та завжди бути в курсі всіх наукових новинок та економічної ситуації в країні. Окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7.

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару.	Впровадить технологію і змінить вартість товару.
2.	Попит	Збільшення попиту на товар на ринку.	Збільшення продажів, а відповідно і прибутків компанії
3.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5.	Екологія	Підвищення зацікавленості людей впливу різних речовин і продуктів на навколишнє середовище.	Реклама своєї продукції яка допомагає виявити підприємства які мають попит на товар.

Таблиця 5.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Олігополія	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Є 3 конкуренти, які займаються виготовленням данного обладнання	Потенційними конкурентами є іноземні компанії які згодом можуть вийти на наш ринок. Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є інтернет-магазини, які займаються розповсюдженням елементної бази для виготовлення приладу Диференціація витрат. Концентрація постачальників. Значення розміру поставок	Основними клієнтами є підприємства транспортної інфраструктури Організації та підприємств пов'язаних з дослідженнями, оцінкою якості та сертифікацією паливно-мастильних матеріалів	Доступні аналоги присутні, але в нашій компанії дуже вигідні цінові пропозиції
Висновки:	Проводити аналіз конкурентних пропозицій, працювати над зниження собівартості.	Високий ризик виходу нових гравців, адже вхідні бар'єри є не дуже високими. потенційних конкурентів немає	Оскільки доволі багато постачальників, тому вони не диктують умови роботи на ринку.	Для задоволення потреб клієнтів потрібно розробляти нові пропозиції і підтримувати якість продукту. Адже все важливішим стає питання ціни	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентну перевагу, розроблювати нові види товарів

Провівши аналіз факторів робимо обґрунтування конкурентоспроможності. Точна оцінка конкурентоспроможності можлива лише після впровадження приладу, тому робимо лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 5.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Підтримка зворотного зв'язку з клієнтами, усунення проблем при проведенні вимірювань, вдосконалення приладу, збільшення попиту на продукт, що в результаті дозволить знизити ціну.

Продовження таблиці 5.10

2	Велика кількість постачальників	Наявність приладу та своєчасна доставка продукту клієнту.
3	Висока якість	Висока якість і точність приладу, яка дозволяє клієнту отримувати максимально точний результат вимірювань.
4	Технічна підтримка	Наявність досвідчених спеціалістів, які зможуть швидко вирішити будь яку проблему в роботі приладу.
5.	Наявність патентів	Наявність патенту на приладу, дає споживачу упевненість в тому що він купує сертифікований продукт

Таблиця 5.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін приладу

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим приладом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	14	+						
2	Велика кількість постачальників	19						+	
3	Висока якість	17				+			
4	Технічна підтримка	18						+	
5.	Ціна	20							+

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при спеціалізованого калібрування вимірювального засобу для контролю дисперсності гідравлічних олиव та відповідного первинного налаштування приладу для конкретного клієнту. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 5.12

SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: За наявності своєчасної технічної підтримки споживач впевнений в достовірності вимірів проведених пропонуваніх засобом. Закріплюємо свої позиції на ринку за рахунок модернізації приладу відповідно до побажань клієнту</p>	<p>Слабкі сторони: Компанії необхідно збільшувати кількість його постачальників, оскільки на ринку багато рітейлерів і клієнти мають великий вибір Клієнти обирають продукт що має торгову марку і сертифікований в Україні і це призводить до втрати потенційного заробітку.</p>
--	--

Продовження таблиці 5.12

<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зміниться технологія виготовлення товару. 2. Збільшення попиту на товар на ринку. 3. Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва. 4. Може вплинути на купівлю/продаж товару. 5. Підвищення зацікавленості людей впливу різних речовин і продуктів на навколишнє середовище. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною. 2. Зміна курсу національної валюти, за рахунок чого можуть зменшитися продажі 3. Може вплинути на коло потенційних покупців. 4. Проблема з фірмами постачальниками. 5. Систематичні збої в роботі приладу.
--	---

На основі SWOT-аналізу (табл. 5.12) розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	6 міс. - 1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1,0-1,5 року
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Транспортно-логістичні компанії	Зазначатиметься готовністю цільових клієнтів піти на додаткові витрати пов'язані з вдосконаленням приладу та розширення його функціональних можливостей для лабораторного, поточного та експрес-контролю показників гідравлічних емульсій	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку економіки взагалі і транспортної галузі зокрема	Середня	Середні бар'єри входу на ринок
2	Рітейлери паливно-мастильних матеріалів на території України			Висока	Високі бар'єри входу на ринок
3	Державні установи контролю якості паливно-мастильних матеріалів			Середня	Середні бар'єри входу на ринок
4	Інститути, вчені яких проводять дослідження в даній області			Середня	Середні бар'єри входу на ринок
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із транспортно-логістичними компаніями та в обмежених масштабах із науково-дослідними закладами що працюють в сфері контролю характеристик паливно-мастильних матеріалів на території України.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (табл. 5.13) ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретними сегментами ринку – транспортно-логістичними компаніями та в обмежених масштабах із науково-дослідними закладами що працюють в сфері контролю характеристик паливно-мастильних матеріалів на території України, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.15

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Надійний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

Пропонований вимірювальний засіб та методика його застосування відповідає вимогам експрес-метрії інформативних показників розмірних включень в гідравлічних сумішах. Пропонується цілодобова технічна підтримка покупців вимірювального засобу. Розроблено технологічну карту на застосування даного виробу в польових умовах відповідно до технічного оснащення клієнту. Вимірювальний засіб має значну цінову перевагу та достатній потенціал модернізації порівняно із аналогами присутніми на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде створено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 5.17

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Первинне калібрування продукту відповідно до оснащення конкретного клієнта засобами рухомого складу із гідравлічним приводом	Стратегія диферентціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка. Удосконалення вимірювача відповідно до побажань конкретного клієнту
2	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диферентціації		

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару

Таблиця 5.18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в контролі дисперсного складу гідравлічних емульсій	Отримання результатів про технічний стан гідравлічних емульсій, який важко або неможливо визначити іншими пристроями або методами.	Приваблива ціна порівняно із аналогами Постійна технічна підтримка. Безперебійна робота приладу. Систематизація та спрощення обробки результатів досліджень.

Таким чином, головними перевагами пропонованого проекту є приваблива ціна порівняно із аналогами присутніми на ринку, високий рівень технічної підтримки, забезпечення безперебійної роботи приладу.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.19).

Таблиця 5.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Розробка методу та апробація оптико-електронної вимірювальної системи контролю дисперсності гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2. Можна виділити наступні вигоди використання: <ul style="list-style-type: none">Вхідний контроль якості гідравлічних емульсій, визначення контрафактної продукції.Контроль технічного стану елементів гідравлічного приводу.Максимально точне визначення розмірних характеристик та кількості мікрогенних включень в гідравлічних емульсіях		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Практичність виробничого виконання (Практичний дизайн)	Нм	Тл
	4.Вартість обслуговування (Низька вартість обслуговування)	Нм	Вр
	Якість: відповідає нормам ГОСТ 12536-79, ДСТУ 15093-90, ДСТУ 1.7-2001		
Пакування: прилад в малогабаритному корпусі, переносний, малої металоемності із практичним дизайном, запакований в коробку із зазначенням всіх характеристик приладу та його характеристиками.			
Марка: відсутня на момент реалізації приладу			
III. Товар із підкріпленням	До придбання товару, користувач може надати зразки гідравлічних сумішей із вказанням типу гідравлічного приводу для контролю їх показників дисперсності. Можливе надання приладу потенційному замовнику на безоплатній основі для проведення вимірів дисперсності гідравлічних емульсій на протязі 120 роб. годин.		
	Після придбання товару один раз в квартал клієнта буде відвідувати спеціаліст для налаштування, калібровки, усунення несправностей.		
Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування елементної схеми приладу та принципів його роботи та надання кожній проданій копію індивідуального ліцензійного коду який необхідно вводити при запуску приладу.			

Далі визначаємо цінові межі, якими необхідно користуватися при визначенні ціни продукту, щоб він користувався попитом на ринку. При аналізі цінових меж та встановленні ціни необхідно враховувати ціни на прилад, які пропонують конкуренти та доходи потенційних клієнтів. (табл. 5.20).

Таблиця 5.20

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	100 000 – 200 000 грн.	73 000 – 175 000 грн.	1 200 000 – 1 600 000 грн.	39 990 - 49 990 грн.

Присутні на ринку аналоги пропонованого вимірювального засобу знаходяться в ціновому діапазоні 73 000 – 175 000 грн, тому наш вимірювальний засіб має в 2 рази кращу цінову перевагу ніж аналоги. Середній дохід цільової групи споживачів становить близько 1,5 млн. грн. за квартал, тому пропонований вимірювальний засіб має значні перспективи реалізації на ринку при правильній стратегії розповсюдження та маркетингу.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21).

Таблиця 5.21

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Покупка товару один раз	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування та первинне калібрування	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Для зменшення прямих витрат при формуванні системи збуту зразків вимірювального обладнання планується залучення ресурсів мережі інтернет власними силами конструкторського колективу – виробника вимірювального засобу. Для інтенсифікації продаж планується безпосередня комунікація замовника із конструкторським колективом.

Наступним етапом є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.22

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Необхідність контролю показників дисперсності гідравлічних емульсій для забезпечення ефективного функціонування гідравлічних елементів рухомого складу замовника.	Мережа інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	Спеціалізовані виставки Профільні сайти вимірювального обладнання із можливістю подачі оголошень виробників мілкосерійних вимірювальних засобів	Проінформувати клієнта про те, що за допомогою приладу стає можливим швидке та точне визначення дисперсних показників гідравлічних емульсій в польових умовах	Хочете забезпечити ефективне використання наявних транспортних засобів із гідравлічним приводом на Вашому підприємстві? – Ми знаємо як Вам допомогти! Ваші працівники скаржаться на часту відмову гідравлічних приводів вантажопідйомних транспортних засобів? – Наші прилади допоможуть Вам знайти причину відмов!
2	Вхідний контроль гідравлічних олив, виявлення контрафакту				
3	Зменшення витрат на експлуатаційне обслуговування гідравлічних приводів техніки замовника			Надати клієнту інформацію про можливість індивідуального налаштування та калібрування вимірювального засобу під конкретний експлуатаційний цикл рухомого складу замовника із елементами гідравлічного приводу.	

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стану ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

4.6 Висновки

В результаті аналізу інформації про доступні на ринку України комерційні зразки наявних аналізаторів дисперсних характеристик неполярних розчинів (до яких відносяться усі без винятку паливно-мастильні матеріали) встановлено, що дані аналізатори використовують безконтактні методи засновані на дії електромагнітного випромінювання різних діапазонів (рентгенофлуорисценція, оптичний, радіохвильовий аналіз), використання магнітних полів високої інтенсивності та напрямленого потоку електронів.

Дані прилади мають високу селективність та показники виявлення мікрогенних часток в досліджуваних зразках. В той же час, більшість розглянутих вимірювальних засобів та систем мають високі показники металоємності, особливі вимоги до кваліфікації оператора вимірювального засобу, значну ціну, та, у більшості випадків – призначені виключно для лабораторного аналізу.

Пропонований нами вимірювальний засіб, та розроблена для нього методика аналізу дисперсних характеристик гідравлічних емульсій із застосуванням лазерної дифрактометрії, спрямована на експрес діагностику зразків у виробничих умовах та забезпечує визначення середнього розміру, рахункової та об'ємної концентрації мілкодисперсних часток у гідравлічних емульсіях безпосередньо у експлуатаційному циклі рухомого складу із елементами гідравлічного приводу. Розроблений вимірювальний засіб та алгоритм його застосування не потребує високої кваліфікації оператора.

Провівши детальний аналіз стартап проекту, можна зробити висновок, що даний продукт буде цікавий потенційним клієнтам і має хорошу

можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з зростаючою динамікою ринку перевезень та транспортно-логістичних операцій на території України прогнозується гарний попит серед цільової групи клієнтів на розроблений продукт. Проект обіцяє бути прибутковим з точки зору рентабельності.

З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є високими. Але, за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту із зареєстрованими товарними марками, системою ритейлерів, та налагодженими каналами збуту – бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу ринок та зацікавленості цільової групи клієнтів необхідно забезпечити нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- формування бази даних характеристичних розмірних спектрів присутніх на ринку України марок гідравлічних емульсій вітчизняних та зарубіжних виробників;

- удосконалення програмного забезпечення для автоматизації реєстрації вхідних вимірювальних сигналів та інтерпретації сигналів вимірювальної інформації;

- забезпечення можливості відносних вимірів дисперсності спрацьованої гідравлічної суміші для гідравлічних елементів рухомого складу конкретного замовника;

Для забезпечення ефективних продаж вимірювального засобу та інформування потенційних клієнтів із особливостями його роботи, рекомендованими умовами технічної експлуатації – доцільно проведення публічної презентації результатів проекту серед цільової групи користувачів та широкого кола науковців на профільних заходах. Необхідно надати можливість проведення тестових вимірювань приладом на протязі серії робочих днів з можливістю залучення сторонніх фахівців для навчання персоналу замовника.

Планується участь у профільних виставках вимірювального обладнання, наукових конференціях із демонстрацією роботи приладу в Україні та за кордоном. Основною маркетингової стратегією реалізації продукту серед цільової групи клієнтів є проведення дієвої рекламної компанії за допомогою електронних ресурсів, профільних для галузі застосування засобу вимірювань, для зацікавлення продуктом потенційних користувачів.

Важливим є зворотній зв'язок з клієнтами, удосконалення вимірювального засобу відповідно до рекламаций клієнтів що виникли в процесі його технічного обслуговування

Враховуючи мілкосерійне виробництво вимірювального засобу (до 10 од. в рік) для ринкової реалізації проекту можна обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет для одного сегменту ринку (транспортно-логістичні компанії). Після закріплення на ринку доцільно починати шукати клієнтів в інших сегментах та розширювати канали збуту.

ВИСНОВКИ

Метою магістерської дисертації на тему «Оптико-електронна вимірювальна система контролю дисперсності гідравлічних емульсій» було розробка методу та апробація засобу контролю дисперсності гідравлічних емульсій вимірювальних макетом на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

В ході виконання магістерської дисертації було:

обґрунтувати доцільність застосування оптико-електронної інформаційної вимірювальної системи контролю мілкодисперсних включень гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2. У ході виконання магістерської дисертації було:

1. Зроблено аналіз літературних джерел та патентів по темі досліджень.
2. Визначено ключові фізико-хімічні показники гідравлічних емульсій, що забезпечують їх робочі характеристики в процесі технічної експлуатації гідравлічних елементів вантажопідйомних машин та механізмів.
3. Проведено огляд методик контролю робочих характеристик гідравлічних емульсій різного якісного та кількісного складу відповідно до технічних вимог виробника.
4. Досліджено характеристики вимірювальних засобів придатних для контролю розмірних включень мікронного розміру в неполярних багатокомпонентних системах.
5. Обґрунтовано доцільність застосування оптико-електронної інформаційної вимірювальної системи контролю мілкодисперсних включень гідравлічних емульсій на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.
6. Проведено комплекс досліджень відповідно до теми магістерської дисертації за допомогою вимірювального макету бази лазерного вимірювача дисперсності ВДЛ-1М2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. Войтов, В.А. Мазепа // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: Сб. научн. Тр. Харьков: ХГТУСХ. - 2003. - Вып.14. - с.104-108.
2. А.с. №1525576, МПК G01 №33/30. Способ определения термической стабильности смазочного масла. / П.Ф. Григорьев, О.А. Лебедев. 1989. Бюл. №44.
3. А.с.1779756 РФ, МПК F01M9/02. Способ оценки ресурса моторного масла двигателей внутреннего сгорания. / В.В. Чанкин, Т.К. Пугачева, Ю.А. Шапунский и др. 1992, Бюл. №45.
4. Арабян, С.Г. Масла и присадки для транспортных и комбайновых двигателей. / С.Г. Арабян, А.Б. Виппер, И.А. Холомонов. – М.: Машиностроение, 1984ю-208с.
5. Ахматов, А. С. Молекулярная физика граничного трения. Гос. изд. физ.- ма-тем. лит., 196
6. Б. Григоров, П.В Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник НТУ «ХПИ». - 2006. - №25. - С.169-175.
7. Безбородов, Ю.Н. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел по параметрам термоокислительной стабильности: дис. д-ра. техн. наук. / Безбородова Юрия Николаевича – Красноярск, 2009. – С. 65.
8. Берштейн И. Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии / И. Я. Берштейн, Ю. Л. Каминский. – Л. : Химия, 1975. – 232 с.
9. Васильева, Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник для вузов. / Л.С. Васильева. – М.: Транспорт, 1986. –
10. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии(Структурные методы и оптическая спектроскопия).М.: Высш. школа, 1987, 367с.

11. Войтов В.А. Системный подход при подборе моторных масел к ДВС и определение сроков их смены. [Текст] / В.А. Войтов, В.А. Мазепа, С.Ю. Ярошно // Вестник Харьковского национального автомобиледорожного университета. №39/2007. - 4с.
12. Войтов В.А., Мазепа В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены. [Текст]
13. Глоба И.И. Оптические методы и приборы контроля качества.- Минск, БГТУ, 2003, 424 с.
14. Глоба И.И., Ламоткин С.А. Хроматографические и спектральные методы анализа.- Минск, БГТУ, 2008. 408 с.
15. Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей./ М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. М.: Изд-во стандартов, 1981.-238с.
16. Григорьянц А.Г., Коротаева М.А., Алехнович В.И., Шиганов И.Н. Инструментальные методы контроля состава и свойств полидисперсных сред. /А.Г. Григорьянц, М.А. Коротаева, В.И. Алехнович, И.Н. Шиганов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – №2. – С. 51-64.
17. Гудмен, Дж. Введение в Фурье-оптику / Дж. Гудмен // М.: «Мир», 1970. – С.364.
18. Другов Ю.С., Родип А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе. С-Петербург, Анатолия, 2002.С 283.
19. Защепкіна Н.М. Застосування люмінесцентних методів аналізу в експрес-метрії сортів якостей моторних олів. /Н.М. Защепкіна, В.В. Таранов, О.А. Наконечний, М.О.Музика// Міжнародна науково-технічна конференція «Інженерія та технології: наука, освіта, виробництво». м. Луцьк, 15-15 листопада 2018 р. ЛНТУ. – С. 91-94.

20. Ковальский, Б. И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов / Б. И. Ковальский. – Новосибирск: Наука, 2005. – 341 с.
21. Орлова А.О., Маслов В.Г. Применение метода последовательных исключений для определения люминесцирующих компонент фотосинтезирующих объектов. Оптический журнал, 2002, Т.69, №3, С.21-24
22. Основы аналитической химии: В 2 кн. / Под ред. Ю.С. Золотова.М.: Высшая школа, 2000, 264 с.
23. П. А. Красовський, О.В. Карпов, Д.М. Балаханов, Е.В. Лісників О.В. Карпов // Вимірювальна техніка - 2009. -№ 5. - С. 8-14.
24. Прикладная физическая оптика. Под ред. В.А.Москалева С.-Пб.: Политехника, 1995, 316 с.
25. Рабочие жидкости гидросистем: Методические указания по лабораторной работе №1/ Сост. С. В. Каверзин., М. И. Вихорева. Красноярск: КГТУ, 1999. – 20с.
26. Розенберг, Ю. А. Эксплуатационные свойства смазочных материалов и их оценка / Ю. А. Розенберг // Вестник машиностроения. – 1975. №8. С. 42 – 49.
27. Розенберг, Ю.А. Влияние смазочных материалов на надежность и долговечность машин. / Ю.А. Розенберг. – М.: Машиностроение, 1970. – 315с.
28. Таранов В. В. Розмірний спектр мікрогенних структур як фізико-хімічний стан рідинної системи /В. В. Таранов// Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – Вип. 3(66) – С. 93-94.
29. Технический паспорт на прибор «Малоугловой измеритель дисперсности лазерный ИДЛ – 1», № 52.1440 – 2009, г. Обнинск, 2009, –14 с.
30. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А.

- Бнатов и др. Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. И доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596с.
31. Трейгер, М. И. Экономное и рациональное использование смазочных материалов / М. И. Трейгер. – ЛДНТИ, 1982. – 280 с.
32. Черножуков Н.И. Химия минеральных масел / Н.И. Черножуков, С.Э. Крейн, Б.В. Лосиков и др. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 417 с.
33. A.F. Dresvyannikov, E.V. Petrova, M.A. Tsyganova // Russian Journal of Physical Chemistry A. - 2010. - V.84, № 4. - P. 642-647.
34. F. Yang // Physics Examination and Testing. -2005. - V. 23. - № 5. - P. 36-39.
35. ISO 13320-1: 1999. Particle size analysis. Laser diffraction methods. Pt. 1: General principles. ; ISO 22412: 2008. Particle size analysis. Dynamic light scattering (DLS).
36. Niki K., Kiso Y., Takeuchi T. et al. // Analytical Methods. – 2010. – V. 2. – P. 678-683.
37. Riefler N., Wriedt Th. Intercomparison of Inversion Algorithms for Particle-Sizing Using Mie Scattering. Particle & Particle Systems Characterization. Vol. 25, Issue3. September 14, 2008. pp. 216-220.
38. Wilson, R. G. Fourier Series and Optical Transform Techniques on Contemporary Optics: An Introduction, John Wiley & Sons, New York, 1995, pp. 124-128.